

**BIANCA PEREIRA CORÁ**

**POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NO ESTADO DE SÃO PAULO: ANÁLISE  
DAS EMISSÕES INDUSTRIAIS E IMPACTOS ASSOCIADOS**

Dissertação apresentada, como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Análise Ambiental Integrada do Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas da Universidade Federal de São Paulo – Campus Diadema.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Simone Georges El Khouri Miraglia

DIADEMA

2019

Corá, Bianca Pereira

**Poluição Atmosférica no Estado de São Paulo: Análise das Emissões Industriais e Impactos associados** / Bianca Pereira Corá. - - Diadema, 2019.

131 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais– Programa de Pós-Graduação em Análise Ambiental Integrada) - Universidade Federal de São Paulo - Campus Diadema, 2019.

Orientador: Simone Georges El Khouri Miraglia

1. Poluição Atmosférica. 2. Material Particulado. 3. Saúde Pública. 4. Atividade Industrial. 5. Emissões Industriais. I. Título.

CDD 628.53



Serviço Público Federal  
Universidade Federal de São Paulo  
Pró – Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa

**ATA DE REUNIÃO DA COMISSÃO JULGADORA DA DEFESA  
DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Aos vinte e nove dias do mês de março de dois mil e dezenove, reuniu-se na Sala de Videoconferência da Unidade José Alencar - Campus Diadema, Rua São Nicolau, 210, Subsolo – Centro - Diadema - SP, às 13:00 horas, a Comissão Julgadora para a **DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**, solicitada por **BIANCA PEREIRA CORÁ**, aluno do Programa de Pós-Graduação em **ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA**, que apresentou a dissertação sob o título: **“Poluição Atmosférica no Estado de São Paulo: Análise das Emissões Industriais e Impactos Associados”**. A referida Comissão esteve constituída pelos Professores Doutores:

- **Prof. Dr. Eduardo Luiz Machado [CPF 130.248.678-05]**  
Professor Adjunto IV  
Universidade Federal de São Paulo

- **Profa. Dra. Claudia Boian [CPF 129.540.308-01]**  
Professor Adjunto  
Universidade Federal do ABC

- **Prof. Dr. Nilton Manuel Évora do Rosário [CPF 214.561.738-80]**  
Professor Adjunto I  
Universidade Federal de São Paulo

A Presidente da Banca, Profa. Dra. Simone Georges El Khouri Miraglia, iniciou a sessão, dando a palavra ao candidato, que dispôs de trinta a cinquenta minutos, no máximo, para expor sua dissertação. A seguir, deu a palavra aos Professores, para a arguição. Cada examinador dispõe de trinta minutos, no máximo, para arguição, bem como ao candidato, para resposta. Após o candidato ter respondido todas às arguições em tempo hábil, os membros da Banca Examinadora emitiram seus Pareceres:

Profs. Drs.:

**Eduardo Luiz Machado**

**Claudia Boian**

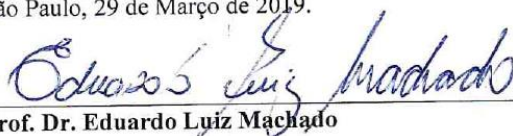
**Nilton Manuel Évora do Rosário**



**Serviço Público Federal**  
**Universidade Federal de São Paulo**  
**Pró – Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa**

Em face dos referidos pareceres, a Comissão Julgadora considera o aluno(a) **BIANCA PEREIRA CORÁ** APROVADA (Aprovado/Reprovado) a receber o título de **MESTRE EM CIÊNCIAS** pela UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO. E, por estarem de acordo, assinam a presente ata.

São Paulo, 29 de Março de 2019.

  
Prof. Dr. Eduardo Luiz Machado

  
Profa. Dra. Claudia Boian

  
Prof. Dr. Milton Manuel Évora do Rosário

  
Profa. Dra. Simone Georges El Khouri Miraglia

## **AGRADECIMENTO**

Dedico este trabalho aos meus pais, Roberta e Tércio, pelo apoio, amor e carinho que sempre dedicaram aos meus sonhos e conquistas.

Também aos meus avós, minhas referências de vida, que mesmo em forma de anjos e estrelas continuam olhando por mim.

Agradeço ao meu marido e companheiro, Maycon, pelo amor e força que sempre me deu nas noites longas desta trajetória e à minha filha de quatro patas Cacao.

Agradeço a todos os professores que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, em especial à minha orientadora, Profa. Dra. Simone Miraglia pela confiança e por ter me permitido florescer. Também aos professores da banca por todas as colocações e auxílio na formulação do projeto.

Aos meus amigos e amigas que durante esta caminhada compartilharam comigo lágrimas e sorrisos, em especial minha amiga Aletea, que me incentivou e percorreu simultaneamente os mesmos obstáculos acadêmicos.

Aos colegas do Laboratório de Economia, Saúde e Poluição Ambiental (LESPA) que tanto me ajudaram a treinar, rever e finalizar minha dissertação: muito obrigada!

Agradeço à Universidade Federal de São Paulo e ao Programa Interunidades de Pós-Graduação em Análise Ambiental Integrada pela oportunidade profissional e acadêmica.

## RESUMO

A produção industrial tem sido estimulada devido ao crescimento populacional e à expansão do capitalismo, aumentando as taxas de produtividade e o alcance mundial do comércio. Esta produção é responsável pela emissão de elevados níveis de poluentes que são prejudiciais para a qualidade do ar e tem causado impactos à saúde e ao meio ambiente. Este trabalho analisou as emissões totais de material particulado fino (MP<sub>2,5</sub>) em 11 municípios com maior consumo energético do Estado de São Paulo (indicador do nível de atividade econômica) e estabeleceu associação com a mortalidade por doenças cardiorrespiratórias atribuída à poluição do ar no período de 2008 a 2016. Uma revisão sistemática dos estudos epidemiológicos referentes aos efeitos da poluição atmosférica de MP<sub>2,5</sub> na saúde humana foi conduzida utilizando como base os dados dos Periódicos Capes e PubMed. Foram coletados os dados de consumo de energia elétrica, concentração de MP<sub>2,5</sub> e de mortalidade por doenças cardiorrespiratórias nos municípios objeto de estudo e realizadas análises dos impactos em saúde. A indústria de São Paulo foi a que mais emitiu poluentes atmosféricos na atmosfera, porém, o município que mais consome energia elétrica por unidade consumidora e mais emite poluentes atmosféricos por indústria é o município de Cubatão (média de 39.415.554,73 kWh/N.C. e média de 2.782,27 tCO<sub>2</sub>/N.C.), seguido de Paulínia (média de 2.572.518,69 kWh/N.C. e média de 184,37 tCO<sub>2</sub>/N.C.). Tanto Cubatão quanto Paulínia, também representaram as maiores contribuições fracionárias entre os municípios estudados, com médias de 0,11 e 0,07, respectivamente. O número de óbitos associados à poluição atmosférica de MP<sub>2,5</sub>, apresentou os maiores valores para os municípios de São Paulo (3.247,20 óbitos), Guarulhos (3.237,35 óbitos) e Santo André (2.225,11 óbitos). As maiores taxas de mortalidade são dos municípios de Cubatão (380,13 óbitos), Santo André (328,96 óbitos) e Guarulhos (264,92 óbitos), para 100.000 habitantes. A população está sendo exposta a elevadas concentrações de poluentes com reflexos diretos na saúde pública: a taxa de mortalidade nos municípios estudados é, em média, 225,48 óbitos por doenças cardiorrespiratórias associadas ao MP<sub>2,5</sub>/100.00 habitantes. Palavras-chave: Poluição Atmosférica. Material Particulado. Saúde Pública. Atividade Industrial. Emissões Industriais.

## ABSTRACT

Industrial production has been stimulated by population growth and the expansion of capitalism, increasing productivity rates and the global reach of trade. This production is responsible for emitting high levels of pollutants that are harmful to air quality and has caused impacts to health and the environment. This work analysed the total emissions of fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) in 11 counties with the highest energy consumption in the State of São Paulo (indicator of the economic activity level) and established an association with mortality due to cardiorespiratory diseases attributed to air pollution in the period from 2008 to 2016. A systematic review of the epidemiological studies regarding the effects of air pollution of PM<sub>2.5</sub> on human health was conducted using data from the Capes and PubMed journals. Data were collected on the consumption of electric energy, PM<sub>2.5</sub> concentration and mortality from cardiorespiratory diseases in the studied municipalities and analyses of health impacts. The industry of São Paulo was the one that emitted the most atmospheric pollutants, but the municipality that consumes the most electricity and consumes more air pollutants per industry is the municipality of Cubatão (average of 39,415,554.73 kWh / NC and average of 2,782.27 tCO<sub>2</sub> / NC), followed by Paulínia (average of 2,572,518,69 kWh / NC and average of 184,37 tCO<sub>2</sub> / NC). Both Cubatão and Paulínia, also represented the largest fractional contributions among the studied municipalities, with averages of 0.11 and 0.07, respectively. The number of deaths associated with atmospheric pollution of MP<sub>2.5</sub>, showed the highest values for the municipalities of São Paulo (3,247.20 deaths), Guarulhos (3,237.35 deaths) and Santo André (2,225.11 deaths). The highest mortality rates are from Cubatão (380.13 deaths), Santo André (328.96 deaths) and Guarulhos (264.92 deaths), for 100,000 inhabitants. The population is being exposed to high concentrations of pollutants with direct repercussions on public health: the mortality rate in the municipalities studied is, on average, 225.48 deaths from cardiorespiratory diseases associated with MP<sub>2.5</sub>/ 100.00 inhabitants.

Keywords: Atmospheric Pollution. Particulate Matter. Public Health. Industrial Activity. Industrial Emissions.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Camadas da atmosfera de acordo com o perfil.....	23
Figura 2: Localização das Estações da Rede Automática – 2017.....	27
Figura 3: Localização das estações e pontos de amostragem da Rede Manual – 2017.....	28
Figura 4: Esquema de uma distribuição granulométrica para material particulado.....	30
Figura 5: Representação das áreas de depósito do material particulado.....	31
Figura 6: Anomalias nas temperaturas médias (°C) observadas no Brasil durante o ano de 2017 baseado nas normais climatológicas de 1981-2010.....	34
Figura 7: Rosa dos Ventos no Estado de São Paulo.....	35
Figura 8: Representatividade dos efeitos na saúde pública em relação à poluição atmosférica.....	38
Figura 9: Poluição Industrial Potencial de MP <sub>10</sub> no Brasil.....	48
Figura 10 – Localização da área de estudo.....	60
Gráfico 1 – Concentração média de MP <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) nos municípios estudados.....	97
Gráfico 2 – Consumo Energético do Setor Industrial (GWh) dos municípios estudados.....	98
Gráfico 3 – Número de óbitos por doenças cardiorrespiratórias associadas ao MP <sub>2,5</sub> nos municípios estudados.....	99
Gráfico 4 – Município de Cubatão.....	100
Gráfico 5 – Município de Guarulhos.....	100
Gráfico 6 – Município de Jundiaí.....	101
Gráfico 7 – Município de Mauá.....	101
Gráfico 8 – Município de Paulínia.....	102
Gráfico 9 – Município de Piracicaba.....	102
Gráfico 10 – Município de Santo André.....	103
Gráfico 11 – Município de São Bernardo do Campo.....	103
Gráfico 12 – Município de São José dos Campos.....	104
Gráfico 13 – Município de São Paulo.....	104
Gráfico 14 – Município de Sorocaba.....	105



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Gases que compõem a atmosfera.....	24
Tabela 2 – Padrões de Qualidade do Ar e Valores de Referência.....	26
Tabela 3 – Municípios que mais consomem energia elétrica pelo setor industrial nos anuários de 2008 a 2016.....	57
Tabela 4 – Rede de monitoramento de Partículas Inaláveis e Partículas Inaláveis Finas da área de estudo.....	58
Tabela 5 – Estações que realizaram medição de MP <sub>10</sub> .....	59
Tabela 6 – Indicadores econômicos dos municípios do Estado de São Paulo.....	61
Tabela 7 - Principais setores industriais dos municípios estudados.....	61
Tabela 8 – Qualidade do ar nos municípios de São Paulo em 2016.....	63
Tabela 9 – Estudos de associação entre poluição atmosférica e impactos na saúde pública.....	64
Tabela 10 – Emissões antropogênicas de poluentes atmosféricos dos municípios do Estado de São Paulo.....	70
Tabela 11 – Contribuições fracionárias para F1-Artigo.....	77
Tabela 12 – Contribuições fracionárias para F2-Fração.....	81
Tabela 13 – Contribuições fracionárias para F3-Módulo.....	85
Tabela 14 - Comparação entre os resultados das contribuições fracionárias.....	89
Tabela 15 – Impactos na saúde e óbitos por doenças cardiorrespiratórias associados à poluição atmosférica.....	90
Tabela 16 – Taxa de mortalidade por 100.000 habitantes.....	96

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DATASUS	Departamento de Informática do SUS
EPA	United States Environmental Protection Agency
ERT	Chumbo e Enxofre Reduzido Total
FMC	Fumaça
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
MMA	Ministério do Meio Ambiente
N.C.	Unidades Consumidoras
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
MP	Material particulado
MP <sub>10</sub>	Partículas inaláveis com diâmetro menor que 10 micrómetros
MP <sub>2,5</sub>	Partículas inaláveis finas com diâmetro menor que 2,5 micrómetros
PQAr	Padrões de Qualidade do Ar
PTS	Partículas Totais em Suspensão
SIN	Sistema Interligado Nacional

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVO GERAL .....	17
2.1. Objetivos Específicos.....	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	18
3.1. O setor industrial e o consumo elétrico .....	18
3.1.1 Industrialização do Estado de São Paulo .....	20
3.2. Atmosfera .....	22
3.2.1 Poluentes Atmosféricos.....	25
3.2.2 Material Particulado.....	29
3.2.3 Dispersão dos poluentes e meteorologia .....	32
3.3 Impactos Sociais.....	36
3.3.1 Impactos na saúde.....	37
3.3.2 Impactos na saúde no Estado de São Paulo .....	40
3.4 Desenvolvimento sustentável e políticas públicas.....	42
3.5 Revisão do artigo Zhang et al (2017).....	45
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	49
4.1 Parâmetros de seleção da área de estudo .....	49
4.2 Fonte de dados .....	50
4.3 Inventário de Emissões.....	50
4.4 Contribuições fracionárias de MP <sub>2,5</sub> .....	51
4.4.1 F1 - Artigo.....	52
4.4.2 F2 - Fração.....	52
4.4.3 F3 - Módulo .....	53
4.5 Efeitos na saúde .....	53
5 RESULTADOS .....	56
5.1 Filtragem da área de estudo.....	56
5.2 Levantamento Bibliográfico .....	63
5.3 Equação 01 .....	69
5.4 Equação 02 .....	76
5.5. Equações 03 e 04.....	89
5.6 Análise dos resultados .....	96
5.7 Análise dos dados municipais .....	99
6. DISCUSSÃO.....	106

6.1 Dificuldades Encontradas .....	106
6.2 Panorama Geral.....	107
7. CONCLUSÃO .....	115
8. TRABALHOS FUTUROS.....	117
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	118
APÊNDICE.....	132

## 1. INTRODUÇÃO

A história do homem passou de uma relação com a natureza amiga à uma relação hostil, ocorrendo uma ruptura progressiva entre o homem e o entorno (SANTOS, 1994). A humanidade sempre buscou evoluir continuamente rumo ao desenvolvimento econômico, passando a utilizar os recursos naturais não mais com objetivos de subsistência, mas baseada em acumulação de riquezas. Esta visão foi fortalecida após a Revolução Industrial com a instituição do capitalismo e a descoberta de novos processos produtivos mais eficazes (BEZERRA et al, 2009).

Com o aumento da população e a crescente demanda por consumo, as indústrias cresceram em número, área de atuação e variedade de produtos, preocupando-se muito pouco com o ambiente natural durante muitos anos, ocasionando diversos problemas ambientais (LEAL et al, 2008).

Dentre os problemas ambientais, o desenvolvimento industrial e urbano tem originado uma crescente emissão de poluentes atmosféricos (LEAL et al, 2008). Desta forma, a partir do século XX, a percepção do homem em relação à natureza e aos problemas ambientais sofreu grandes transformações, principalmente quanto à poluição do ar, que antes não havia sido abordado tão evidentemente, tornando-se uma das maiores preocupações da humanidade (DAPPER et al, 2016; RUSSO, 2010; BEZERRA et al, 2009).

Diversas são as fontes de poluição atmosférica, sejam estacionárias ou móveis, como o progressivo aumento no número de veículos automotores nos centros urbanos, a expansão das atividades industriais, a mudança no uso do solo, queima de vegetação, queimas acidentais e erupções vulcânicas, entre outros. Estas fontes contribuem fortemente para a poluição atmosférica e não tiveram um acompanhamento de seus efeitos, principalmente quanto à saúde humana, refletindo em episódios de poluição excessiva que aumentaram a mortalidade em diversas cidades do mundo (DAPPER et al, 2016).

Os impactos gerados pela poluição do ar são decorrentes não somente da quantidade, mas também da diversidade dos poluentes emitidos e das complexas reações físico-químicas resultantes da presença de diferentes contaminantes com a ação de fatores atmosféricos (RUSSO, 2010). Muitos estudos relacionam a poluição atmosférica com a incidência de doenças pulmonares e cardiovasculares, tais como acidentes vasculares cerebrais, doenças cardíacas, câncer de pulmão, doenças

pulmonares obstrutivas crônicas e infecções respiratórias, incluindo pneumonia (MACINTYRE, et al. 2014; CÉSAR, et al. 2016; NEWELL, et al. 2017; MACHIN; NASCIMENTO, 2018; WHO, 2016).

No Brasil, os estudos epidemiológicos que analisaram a associação de poluentes com problemas na saúde concentram-se no Estado de São Paulo. Quanto ao cenário econômico, o Estado de São Paulo tem grande influência para a economia brasileira, sendo que 22,9% do setor econômico do estado refere-se a indústrias, principalmente de transformação, construção e extrativistas (SEADE, 2016). Devido a estes diferentes subsetores em cada município, a quantidade de poluentes atmosféricos nas cidades providas das indústrias também é diferenciado, impactando a saúde da população com intensidades distintas.

Dentro deste cenário, quantificar, analisar e mitigar as emissões industriais têm sido de grande importância para buscar métodos de mitigar a emissão dos poluentes que geram impactos diretos e indiretos na sociedade. Com este estudo, buscou-se analisar os municípios do Estado de São Paulo que mais consomem energia no setor industrial, assumindo que este elevado consumo se refere a níveis altos de produção. A atividade de produção, conseqüentemente, causa alterações significativas na qualidade do ar destes mesmos municípios e de regiões vizinhas devido à dinâmica atmosférica e devido ao consumo de bens e serviços. Este consumo de outras regiões se refere à importação que intensifica a produção e conseqüente emissão de poluentes atmosféricos em determinado local, participando efetivamente da responsabilidade pelos impactos associados na cidade de produção dos bens.

A poluição atmosférica, provinda da atividade industrial, causa diversos efeitos adversos na saúde, sendo que este trabalho contabilizou o número de óbitos por doenças cardiorrespiratórias associados ao material particulado fino ( $MP_{2,5}$ ). Os altos níveis de poluição atmosférica não só evidenciam a necessidade de adequação da tecnologia, mas também adequação da legislação para controle das emissões de gases e a importância de relacionar a dinâmica econômica com efeitos na saúde ambiental e na saúde pública. Não foram encontrados uma grande diversidade de estudos no Brasil que associem a poluição atmosférica por  $MP_{2,5}$ , provinda do setor industrial, com aumento da mortalidade da população por doenças cardiorrespiratórias.

Este trabalho foi dividido em três tópicos principais, considerando uma análise ambiental integrada, resultando na interdisciplinaridade e na compreensão da complexidade envolvida: o primeiro tópico se refere ao setor econômico, que visa buscar o histórico das atividades industriais do Estado de São Paulo, as principais indústrias em atuação e sua influência no cenário brasileiro; o segundo tópico se refere ao meio ambiente, considerando os aspectos dos poluentes atmosféricos, bem como a dinâmica meteorológica da área de estudo; por fim o último tópico trata sobre os impactos sociais, como problemas de saúde, perda da qualidade de vida e a mortalidade.

Assim, coloca-se a seguinte pergunta de pesquisa: Os municípios que mais consomem energia elétrica no setor industrial também são os mais poluidores, causando mais mortes por doenças cardiorrespiratórias?

## **2. OBJETIVO GERAL**

Com base no exposto na introdução, o objetivo deste trabalho foi analisar as emissões totais de  $MP_{2,5}$  provenientes da atividade industrial nos municípios com maior consumo de energia elétrica do Estado de São Paulo e avaliar os impactos associados da qualidade do ar com relação à saúde no que se refere à mortalidade por doenças cardiorrespiratórias associadas ao particulado.

### **2.1. Objetivos Específicos**

- Levantamento da atividade industrial e consumo de energia elétrica dos municípios com atividade industrial mais intensa no Estado de São Paulo;
- Levantamento das concentrações de  $MP_{2,5}$  nos municípios avaliados para o período de 2008 a 2016;
- Estimar a mortalidade por doenças cardiorrespiratórias associadas ao  $MP_{2,5}$  nos municípios avaliados de 2008 a 2016;
- Análise da produção industrial por segmento econômico nos municípios mais produtivos do Estado de São Paulo, a fim de avaliar as contribuições com as emissões industriais e consequente efeito na mortalidade por doenças cardiorrespiratórias no período de 2008 a 2016;
- Levantamento bibliográfico dos impactos em saúde associados a poluentes atmosféricos nos municípios analisados.



### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. O setor industrial e o consumo elétrico**

Durante a Revolução Industrial ocorreram transformações no campo da ciência e da tecnologia e em suas inter-relações, bem como transformações no conhecimento e nos meios de produção (MACEDO; BARBOSA, 2000). As fontes energéticas baseada nos combustíveis fósseis como o carvão mineral, dinamizaram o processo de industrialização, alterando o modo de vida, e a dependência por fontes de energia. Este processo foi vital para o desenvolvimento até o mundo moderno.

O consumo de energia então revelava os novos rumos da sociedade humana (CARVALHO, 2014). Alguns exemplos dessas evoluções foram o navio de ferro a vapor, as ferrovias, a energia hidráulica, novos meios de comunicação telegráficos e telefônicos e a utilização do carvão e de metais. A segunda fase da Revolução Industrial (fim do século XIX) projetou novas perspectivas para a sociedade, evidenciando principalmente o uso da energia elétrica, a produção em massa e linhas de montagem, os motores movidos à petróleo, a fundição do aço e o início das tecnologias de comunicação que possibilitaram o aumento dos fluxos de intercâmbio comercial entre os países e uma nova onda de crescimento econômico (MACEDO; BARBOSA, 2000).

O setor de energia por estar diretamente ligado ao setor industrial durante o processo produtivo, é de igual importância para análise econômica de um país ou região, ainda que a dependência energética para as atividades econômicas de um país pode ser mais acentuada do que em outros. Nos últimos 150 anos, o consumo de energia cresceu oitenta vezes e a produção industrial, cerca de cem vezes mais (LEAL et al, 2008)

Estas mudanças no campo dos processos produtivos trouxeram diversas alterações nas relações sociais, de trabalho, de consumo e de valores. Foram diversos benefícios para a humanidade, mas também trouxe à luz propriedades emergentes deste sistema. Um dos problemas que se destaca é a poluição atmosférica que se tornou um problema mundial principalmente desde a revolução dos processos produtivos (LEAL *et al.*, 2008).

Este processo de industrialização e impactos associados pode ser evidenciado desde os anos 80 em diversos países como a China. O país passou por um rápido

crescimento econômico e processo de intensa produtividade industrial, refletindo no uso intensivo de recursos e o desenvolvimento voltado para exportação. Estas atividades geraram intensa degradação ambiental devido às atividades industriais, geração de resíduos, emissão de poluentes, consumo de energia e desmatamento, colocando em risco a sustentabilidade de sua nação (HE *et al.* 2012).

O Brasil passou por dois fenômenos quanto ao seu ambiente urbano, sendo a rápida industrialização que ocorreu no período pós-guerra e a consequente urbanização acelerada. Durante este processo, políticas desenvolvimentistas foram aplicadas em que, muitas vezes geraram a diminuição da preocupação com o meio ambiente e com a sociedade (LEAL *et al.*, 2008). Isto deve-se pelas indústrias, conhecidas pela quantidade de recursos consumidos – os insumos – e a geração de uma grande quantidade de rejeitos, geralmente tratados como poluição (HE *et al.* 2012). Segundo estudos de Carminati e Scalco (2013) em que avaliaram a relação de causalidade entre consumo de energia e PIB do Brasil entre 1970 e 2007, estabeleceu-se que o país depende da energia para obter crescimento econômico, isto por que é o 8º maior consumidor de energia elétrica no mundo, sendo que sua maior fonte de energia provém da energia hidráulica.

O alto consumo energético está associado à alta produtividade do setor industrial no país, pois este setor representa o maior consumidor de energia elétrica da nação (39,8% do total produzido é destinado para o setor) (FAPEG, 2015). Somente o setor industrial brasileiro correspondeu a 21,2% do PIB do país em 2016, sendo a maioria das indústrias do setor de transformação que compreende em atividades que envolvem transformação física, química e biológica de materiais, substancias e componentes para obtenção de novos produtos (CNI, 2018).

A tendência do aumento do setor industrial é relacionada diretamente com o aumento da população que demanda cada vez mais por produtos e bens de consumo, energia elétrica e serviços. Esta demanda é ainda mais intensificada quando se trata de população urbana, devido ao estilo de vida e ao modelo de consumo. Ao compreender a dinâmica de ocupação territorial da indústria, compreende-se também o comportamento de outros elementos econômicos, sociais e ambientais, como o emprego, a renda, aglomerações urbanas e problemas ambientais.

Segundo as prospecções para população urbana da Organização das Nações Unidas (ONU) de 2014, a população mundial será de 9,1 bilhões de pessoas

em 2050, sendo que a população que vive em área urbana deverá aumentar para 6,3 bilhões de pessoas neste mesmo período. Comparando com os anos de Revolução Industrial, apenas 10% da população da época viviam nas áreas urbanas, sendo hoje aproximadamente 51% do total. Analisando estes valores, mais da metade da população mundial hoje se concentra em áreas urbanas e sua distribuição não é uniforme, além dos níveis de urbanização serem diferentes em todo o mundo. A urbanização criou novos processos físicos, sociais e econômicos, mas também impulsionou o aumento dos problemas ambientais devido a suas atividades.

Estas consequências podem ser evidenciadas no estudo de Vigotti et al (2014) em Taranto na Itália, cidade que sofreu com a poluição ambiental proveniente de fontes industriais como a produção de aço, depósitos e indústria de minerais, refino de petróleo, produção de cimento, armazenamento, produção de energia, gestão de resíduos, porto, entre outras atividades. O aumento dos riscos relaciona-se com as áreas adjacentes de regiões industriais, mas também se relaciona com impactos socioeconômicos.

A intensificação dos processos produtivos aliada ao aumento da quantidade de fontes móveis, tem elevado a quantidade de substâncias tóxicas devido à queima incompleta de combustível fóssil que impactam a qualidade de vida da sociedade, bem como a vida animal e vegetal (DRUMM *et al.*, 2014; MIRAGLIA; GOUVEIA, 2014).

### **3.1.1 Industrialização do Estado de São Paulo**

O Estado de São Paulo está situado na região Sudeste do Brasil, sendo o estado mais populoso do país, com cerca de 22% da população brasileira (aproximadamente 45 milhões de habitantes) (IBGE, 2018). O porte econômico de São Paulo em relação aos demais estados é bastante conhecida, desde a introdução do café para exportação no país, industrialização dos anos 20 e 30 acelerado pelo pós-guerra, governo militar pós 1964 e com a ampliação e modernização mais recente do setor de serviços, diversificando e aumentando sua estrutura produtiva (AZZONI, 1993).

A indústria brasileira é espacialmente concentrada no Estado de São Paulo e de maneira mais intensa, na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), apresentando o maior valor adicionado bruto do país (IBGE, 2015). A hegemonia de São Paulo pode ser notada por diversos autores que constataram a partir de 1929 que

aproximadamente 38% das indústrias de transformação do país estavam instaladas no Estado, chegando a 58% em 1970 (SEVERIAN, 2018).

Porém, este cenário sofreu diferentes fases desde 1970, devido à desconcentração da indústria no Estado, induzido pelo “milagre econômico” e pelo II Plano Nacional de Desenvolvimento, mas o que é notável, ainda hoje, é a importante representatividade do dinamismo econômico no Estado de São Paulo. Esse processo de descentralização pode ser notado por outras diversas causas, entre elas: políticas de desenvolvimento regionais no país; políticas de incentivo às exportações; maior integração do mercado nacional; intensificação do processo de urbanização de outras regiões do país; a guerra fiscal; o deslocamento das fronteiras agrícolas e minerais; a reestruturação produtiva das firmas; e a evolução tecnológica (SOBRINHO; AZZONI, 2014; SEVERIAN, 2018).

Hoje, a busca pela alta tecnologia, inovação, pesquisa e desenvolvimento pelo setor industrial são as principais preocupações devido ao mundo globalizado. Segundo pesquisa realizada pelo IBGE (2015), São Paulo tem a maior produção industrial do país, e conta com o maior PIB entre os estados brasileiros. Em 2017, a economia paulista respondia por cerca de 31,5% do total de riquezas produzidas no país (SÃO PAULO, 2017). Isto reflete, principalmente pela proximidade geográfica que São Paulo apresenta às vias de escoamento de produção, criando um dinamismo e propiciando a manutenção e crescimento, reduzindo custos com transporte, investimentos públicos e urbanizando as regiões (SOBRINHO; AZZONI, 2014).

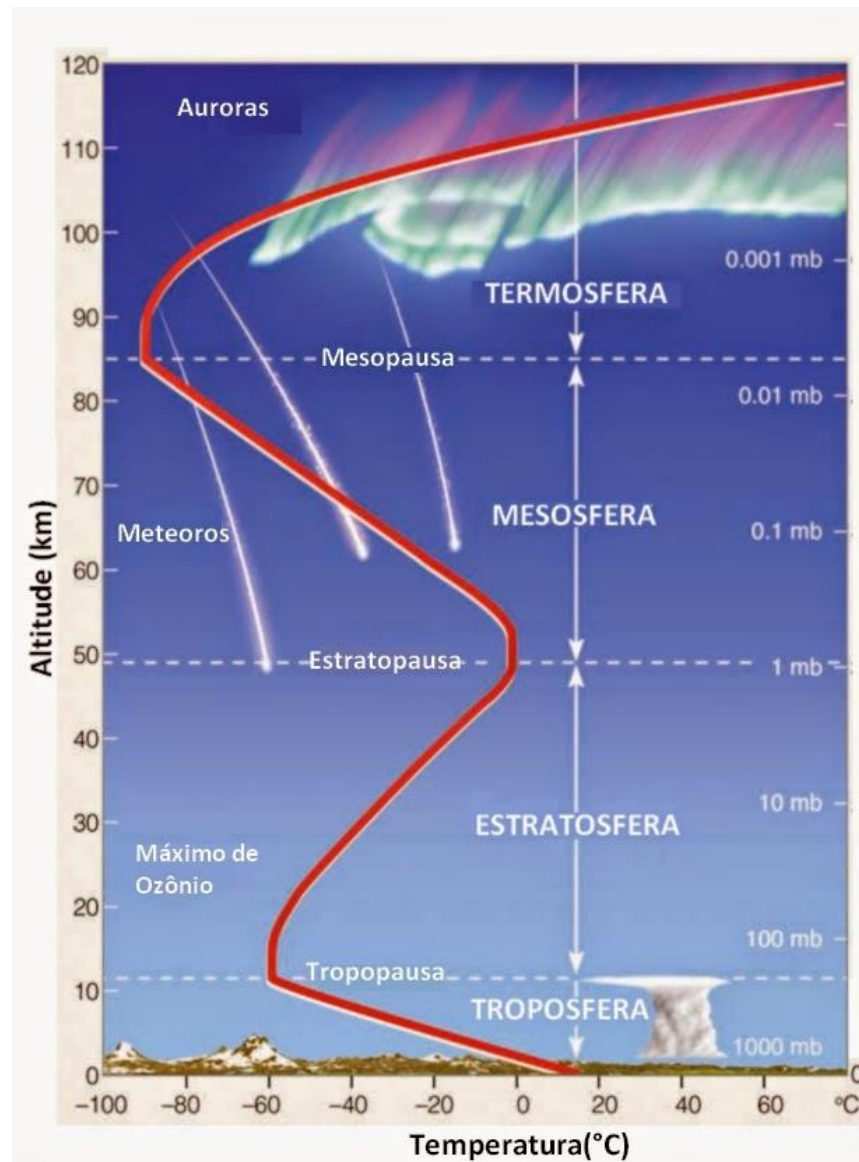
A cidade de São Paulo, porém, representa como o seu principal setor econômico o de serviços, passando por um processo de especialização do mercado, complementar à indústria, dando ênfase para os segmentos de marketing e publicidade, tecnologia da informação e comunicação, concentração de polos tecnológicos, de pesquisa, inovação, além de abrigar sedes de escritórios administrativos de empresas nacionais e internacionais. Este fenômeno é uma consequência da aglomeração urbana que inicialmente concentrou as indústrias devido às vantagens locais, mas que conseqüentemente, com o passar dos anos, desconcentrou-as devido a elevados custos ambientais e restrições legais; valor do uso da terra e especulação imobiliária; saturação da infraestrutura; e pressões sindicais e salariais (SEVERIAN, 2018).

### 3.2. Atmosfera

Para a compreensão da poluição atmosférica analisa-se primeiramente a dinâmica da atmosfera que é a camada de ar que envolve a Terra, constituída de diversos gases. Na atmosfera ocorrem diversos processos físicos e fenômenos atmosféricos como a transferência de massa e energia, movimento do ar, variações de calor e umidade, variações magnéticas, frentes fria e quente, ciclones, tornados, entre outras (DIAS et al. 2007).

A atmosfera terrestre é dividida em camadas determinadas pelo perfil vertical da temperatura média e sua variação, sendo elas: troposfera, estratosfera, mesosfera e termosfera (Figura 1). Os gases que a compõem podem ter origem de processos naturais (como erupções vulcânicas, decomposição de matéria orgânica, fotossíntese, queimadas naturais de biomassa, entre outros) ou de atividades humanas que são as principais fontes da poluição atmosférica (como a atividade industrial, emissões veiculares, queima de combustível fóssil, entre outros) (DAPPER *et al.* 2016).

Figura 1: Camadas da atmosfera de acordo com o perfil.



Fonte: Adaptado de AHRENS, 2008.

No geral, a atmosfera protege a biosfera da radiação ultravioleta proveniente do Sol, contendo os gases para a manutenção da vida dos seres aeróbicos (macro e microrganismos), protegendo a Terra de variações excessivas de temperatura e equalizando as temperaturas das camadas mais próximas da superfície terrestre através da dinâmica e movimentação de massas de ar (DIAS et al. 2007).

A atmosfera terrestre é composta por radiação, gases e material particulado (aerossóis) que envolvem a Terra, sendo que 99% da sua massa está contida na camada até aproximadamente 10 km da superfície terrestre, conhecida como troposfera. Para o estudo da poluição atmosférica, a camada chamada troposfera é a que representa maior importância para o entendimento da dinâmica dos gases. A

troposfera pode ser dividida entre a Camada Limite Planetária (CLP), que representa aproximadamente 1 km da superfície, sendo a baixa troposfera que sofre diretamente com a influência da superfície terrestre, e acima desta ocorre a atmosfera livre. A CLP apresenta uma característica diferente durante o período de 24 horas, sendo que no período diurno ela apresente temperaturas mais elevadas devido ao aquecimento da superfície terrestre, enquanto no período noturno ela se resfria (CORRÊA, 1997; STULL, 2000).

A composição química da atmosfera varia em função da altitude e, consequentemente da pressão e temperatura, sendo composta por gases majoritários e minoritários. Aproximadamente 99,99% dos gases da atmosfera são nitrogênio (N), oxigênio (O<sub>2</sub>) e argônio (Ar), além de outros gases em menores proporções. Quase todos os poluentes emitidos próximos à superfície terrestre são transportados, dispersos, transformados e removidos dentro da troposfera. A síntese dos gases que compõem a atmosfera pode ser vista na Tabela 1.

Tabela 1 – Gases que compõem a atmosfera

Constituintes	Símbolo	Porcentagem (%)
<b>Nitrogênio</b>	N	78,00
<b>Oxigênio</b>	O <sub>2</sub>	20,90
<b>Argônio</b>	Ar	0,90
<b>Dióxido de Carbono</b>	CO <sub>2</sub>	0,03
<b>Neônio</b>	Ne	0,0018
<b>Hélio</b>	He	0,000524
<b>Kriptônio</b>	Kr	0,000114
<b>Xenônio</b>	Xe	0,000089
<b>Hidrogênio</b>	H <sub>2</sub>	0,000050
<b>Metano</b>	CH <sub>4</sub>	0,000150
<b>Óxido Nitroso</b>	N <sub>2</sub> O	0,000027
<b>Monóxido de Carbono</b>	CO	0,000019
<b>Vapor d'água</b>	H <sub>2</sub> O	0,0 – 0,04
<b>Ozônio</b>	O <sub>3</sub>	0,0 – 0,0012
<b>Dióxido de Enxofre</b>	SO <sub>2</sub>	0,00000010
<b>Dióxido de Nitrogênio</b>	NO <sub>2</sub>	0,00000010
<b>Amônia</b>	NH <sub>3</sub>	0,00000040
<b>Óxido Nítrico</b>	NO	0,000000050
<b>Sulfito de Hidrogênio</b>	H <sub>2</sub> S	0,0000000050

Fonte: (Adaptado de LATORRE et al, 2002).

### 3.2.1 Poluentes Atmosféricos

Assim como os demais recursos, a qualidade do ar é essencial para a estabilidade da vida humana e equilíbrio ecológico (STEINMETEZ, 2013). O aumento de alguns gases pode causar efeitos adversos, como por exemplo o aquecimento global, a chuva ácida, buraco na camada de ozônio, entre outros problemas socioambientais. Isto é causado principalmente devido às atividades humanas que se intensificaram mundialmente após a Revolução Industrial (LEAL *et al.*, 2008). Com a expansão das cidades, houve a modificação da paisagem natural, grandes concentrações de áreas construídas, parques industriais, adensamento populacional, pavimentação asfáltica, associados à concentração de poluentes, que criam condições para alterar o comportamento da baixa troposfera (camada limite), em ambientes urbanos (DORIGON; CARDOSO, 2015).

Anualmente, bilhões de toneladas de gases poluentes são lançados na atmosfera. Até meados de 1980, as primeiras ações de controle das emissões focavam principalmente na poluição atmosférica provinda de atividades industriais que estavam concentradas em áreas urbanas. Ao longo do tempo, devido às leis ambientais mais restritivas, como o licenciamento ambiental, além da modernização e tecnologia utilizadas nas instalações industriais, neste sentido, observou-se uma diminuição das emissões atmosféricas (LEAL *et al.*, 2008).

Segundo a definição da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, poluente atmosférico é:

Poluente atmosférico é toda e qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos em legislação, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Os poluentes atmosféricos são classificados como primários e secundários de acordo com sua procedência. Os poluentes primários são os contaminantes diretamente emitidos pelas fontes para o ambiente, como o monóxido de carbono (CO), o óxido nítrico (NOx) e o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>). Os poluentes secundários são resultado de uma interação química entre poluentes primários com substâncias presentes na camada baixa da atmosfera e radiação solar (raios ultravioleta - UV),



como o ácido sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), que deriva do dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), e o ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), que deriva do dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ) (MMA, 2018).

O Padrão de Qualidade do Ar (PQAr) é um instrumento de gestão da qualidade do ar que varia entre os países e estados. Estes padrões determinam o valor da concentração de um poluente específico na atmosfera, associado a um tempo de exposição, de forma que o meio ambiente e a saúde da população sejam preservados em relação aos riscos pela poluição atmosférica (MMA, 2018). No Brasil, os Padrões de Qualidade do Ar foram baseados nas diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS), e foram estabelecidos pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA), aprovados pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução CONAMA nº 03/90. Já para o Estado de São Paulo, os padrões estabelecidos seguem o Decreto Estadual nº 59.113/13. Os valores de referência para  $\text{MP}_{10}$  e  $\text{MP}_{2,5}$  podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2 – Padrões de Qualidade do Ar e Valores de Referência.

Padrões de Qualidade do Ar e Valores de Referência					
Poluente	Tempo de amostragem	OMS (2016)	EPA (2013)	Brasil (CONAMA 03/90)	São Paulo (Decreto Estadual nº 59.113/13)*
<b>Partículas inaláveis (<math>\text{MP}_{10}</math>)</b>	24 horas	50 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	150 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	150 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	50 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	1 ano	20 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	50 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	50 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	20 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
<b>Partículas inaláveis finas (<math>\text{MP}_{2,5}</math>)</b>	24 horas	25 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	35 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	-	25 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	1 ano	10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	12 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	-	10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

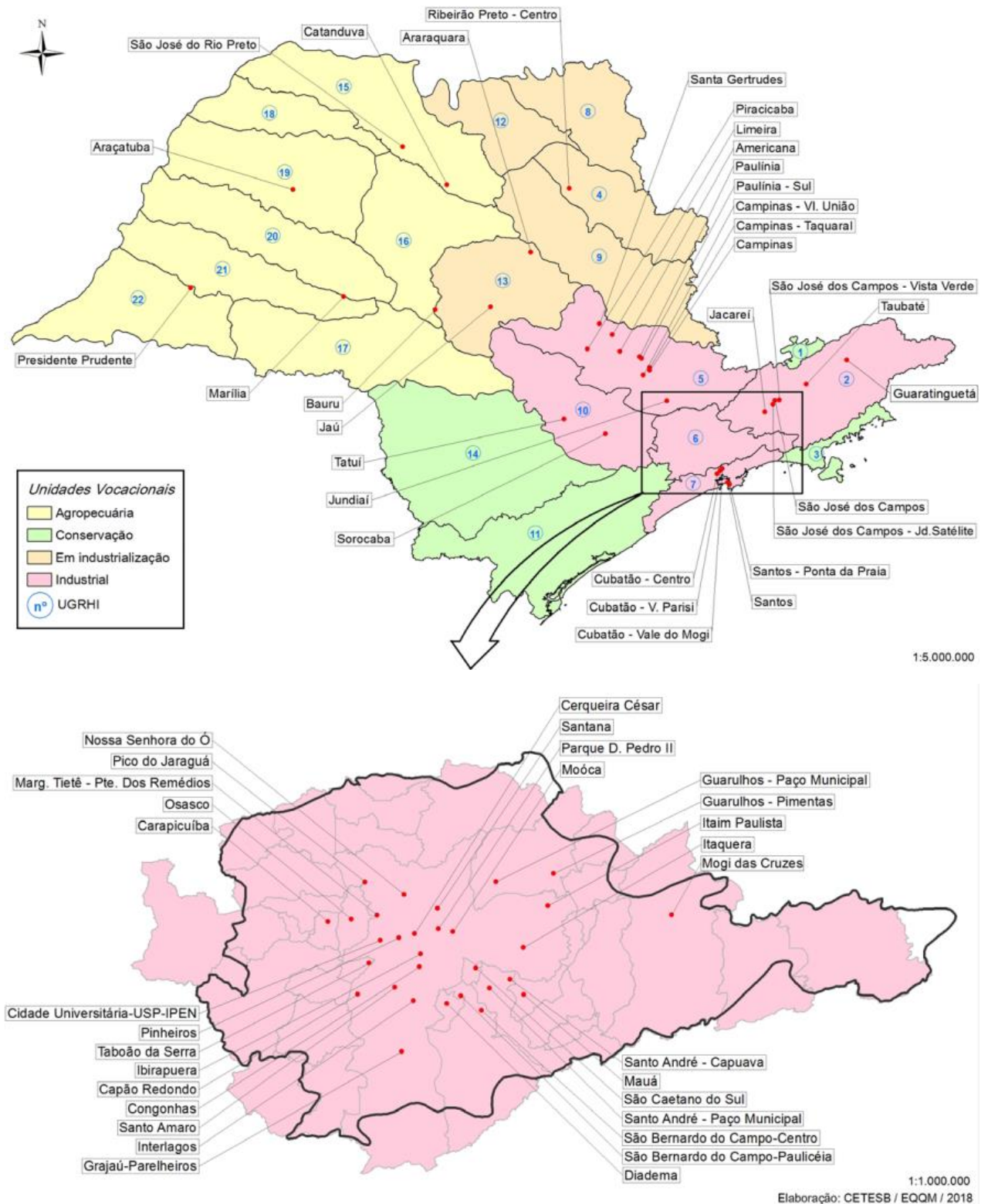
Fonte: elaborada pela autora com base no disposto pela OMS (2016); EPA (2013); CONAMA 03/90; e Dec. Est. nº 59.113/13.

(-) Os valores de  $\text{MP}_{2,5}$  não estão discriminados no CONAMA 03/90.

\* Os valores discriminados são referentes ao Padrão Final – PF estabelecido pela legislação.

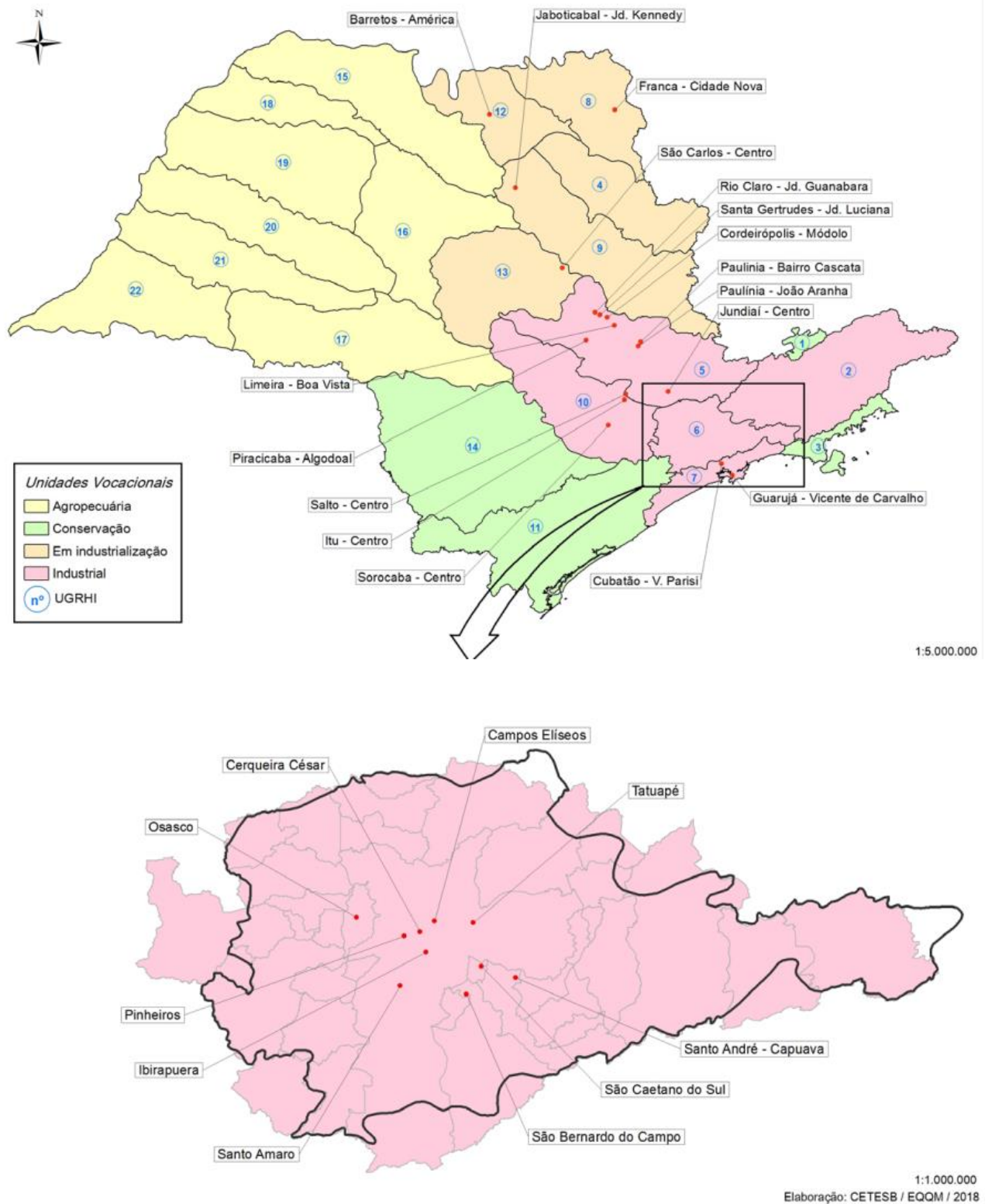
No Estado de São Paulo a medição dos poluentes é feita através das estações de monitoramento reconhece-se a qualidade do ar local, utilizando equipamento que muitas vezes são caros e requerem grandes estruturas (DAPPER, 2016). No Estado de São Paulo, o órgão responsável pelo monitoramento da qualidade do ar é a CETESB. Em 2017, a CETESB contou com 61 estações automáticas fixas (Figura 2) e 27 pontos de monitoramento manual (Figura 3), distribuídos em 11 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHIs (CETESB, 2017).

Figura 2: Localização das Estações da Rede Automática – 2017.



Fonte: CETESB, 2017.

Figura 3: Localização das estações e pontos de amostragem da Rede Manual – 2017.



Fonte: CETESB, 2017.

A qualidade do ar monitorada por estas estações é diretamente influenciada pela distribuição e intensidade das emissões de poluentes atmosféricos, sejam provenientes de fontes móveis ou fixas. As emissões veiculares têm destaque nos níveis de poluição dos grandes centros urbanos, enquanto as emissões industriais afetam regiões mais específicas. As condições meteorológicas e características geográficas de cada município (como a topografia e rugosidade) também tem papel fundamental na dispersão dos poluentes atmosféricos. A ausência de chuvas, a inversão térmica e a falta de ventos são fatores que influenciam na concentração de gases e micropartículas nas regiões (CETESB, 2016).

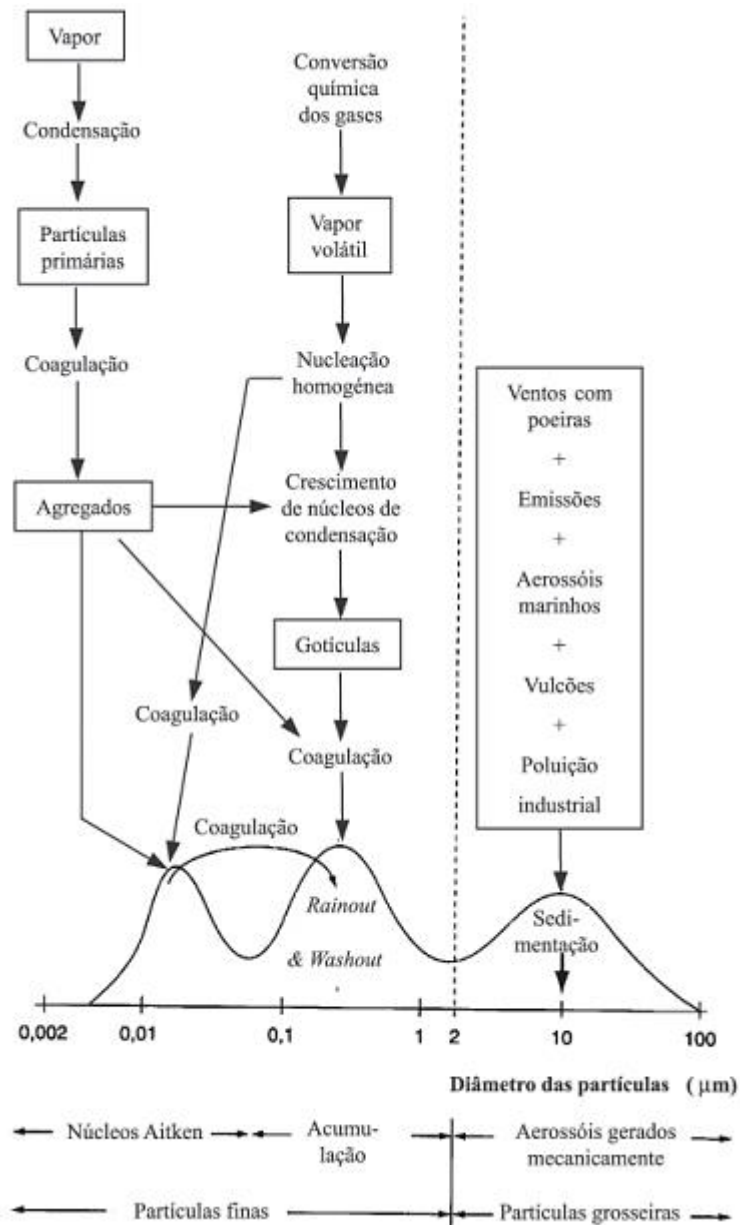
### 3.2.2 Material Particulado

Dentre os poluentes medidos e utilizados como indicadores de qualidade do ar no Estado de São Paulo pela CETESB, o material particulado é um dos mais estudados. Estas partículas são classificadas entre partículas inaláveis ( $MP_{10}$ ) que apresentam diâmetro aerodinâmico menor que  $10\ \mu m$ , e as partículas inaláveis finas ( $MP_{2,5}$ ) que apresentam diâmetro aerodinâmico inferior a  $2,5\ \mu m$ .

Quanto menor o tamanho da partícula, mais chances desta ser transportada para regiões mais distantes, enquanto as partículas maiores se depositam mais próximas à fonte de emissão. O tamanho da partícula também provém de diferentes processos de formação (ALVES, 2005). Estas partículas são materiais sólidos ou líquidos que ficam suspensos no ar, na forma de poeira, aerossol, fumaça, fuligem, etc. O  $MP_{10}$  inclui compostos como sulfato, nitratos e “*black carbon*” e são emitidas principalmente por processos de combustão (fontes fixas e móveis), poeira ressuspensa e aerossol secundário (CETESB, 2016). As partículas grossas são geradas por vários processos de atrito mecânico e estão sujeitas ao movimento Browniano, sendo mais suscetíveis à força gravitacional. Já as partículas finas são divididas entre a faixa de nucleação que são geradas em processos que envolvem condensação de vapores quentes ou durante o processo de transformação de gases em partículas que estão sujeitas a uma difusão rápida e desordenada; a outra divisão corresponde a faixa de acumulação, que são geradas da nucleação através da coagulação e condensação de vapores e que normalmente são responsáveis por diminuir a visibilidade (ALMEIDA, 1999).

O processo de nucleação, acumulação e sedimentação das partículas finas e grosseiras podem ser vistos na Figura 4 a seguir.

Figura 4: Esquema de uma distribuição granulométrica para material particulado.



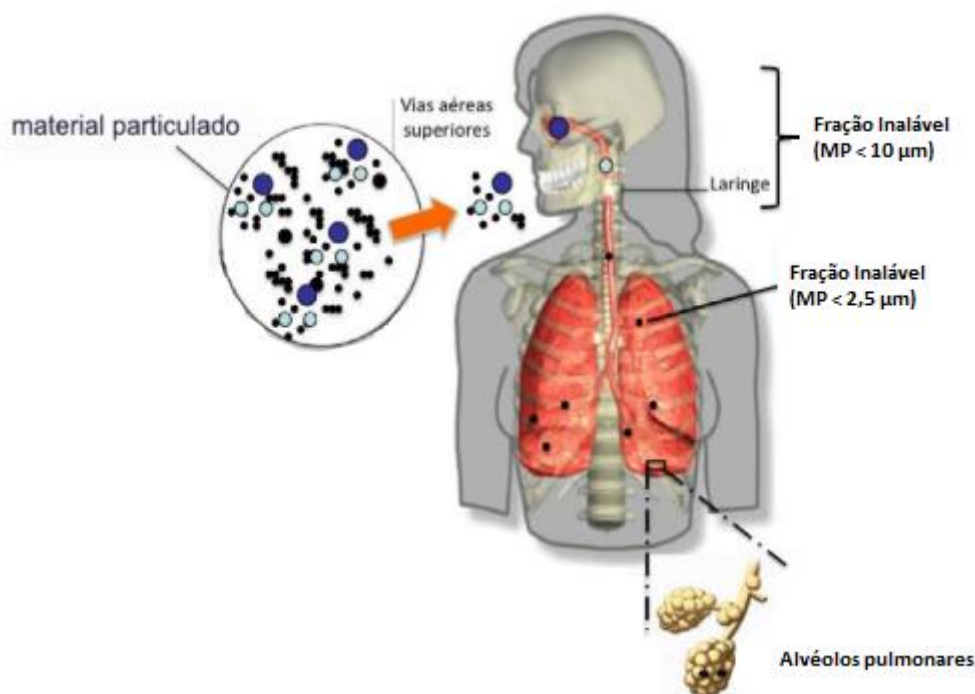
Fonte: Alves, 2005.

O  $\text{MP}_{10}$  é muito estudado, pois além de ser um dos principais poluentes atmosféricos está diretamente relacionado a deterioração da visibilidade, contaminação do solo e da água (CETESB, 2016) e danos à saúde pública (DAPPER et al., 2016). Estudos epidemiológicos têm evidenciado associação de  $\text{MP}_{10}$  e  $\text{MP}_{2,5}$  com a incidência de doenças (DAPPER et al. 2016), pois estas partículas penetram



profundamente nos pulmões quando inaladas, alcançando o sistema cardiovascular, principalmente devido à sua característica aerodinâmica (Figura 5), representando os maiores riscos para a saúde humana (OMS, 2018), gerando impactos na perspectiva econômica e social, como aumento dos custos dos sistemas de saúde, maior vulnerabilidade da população carente, entre outros (DAPPER et al., 2016). Quanto menor a partícula maior o potencial de deposição no trato respiratório, principalmente no trato respiratório inferior (alvéolos), trazendo efeitos adversos à saúde (CORRÊA et al., 2017).

Figura 5: Representação das áreas de depósito do material particulado.



Fonte: Adaptado de GUARIEIRO et al (2011).

Diante deste cenário, o padrão de qualidade do ar nacional foi estabelecido anteriormente pela resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 003, em 28 de junho de 1990. Esta resolução determinou a criação de uma rede nacional de monitoramento da qualidade do ar, de maneira a permitir o acompanhamento dos níveis de qualidade do ar e sua comparação com os padrões nacionais estabelecidos.

O Estado de São Paulo foi um dos primeiros a estabelecer o monitoramento da qualidade do ar, instalando diversas estações de medição e decretando legislação

específica que estabeleceu os padrões de concentração de poluentes atmosféricos no estado. A primeira legislação correspondente ao monitoramento da qualidade do ar no Estado de São Paulo é o Decreto Estadual nº 8.468, de 08 de setembro de 1976, que surgiu como uma resposta aos episódios agudos de poluição do ar que ocorreram na década de 60 e 70. Dentro do estado, a Região Metropolitana de São Paulo – RMSP - foi uma das regiões de maior atenção, devido ao crescimento desordenado e intenso que levou à instalação de indústrias de grande porte que não realizavam o controle de suas emissões de poluentes atmosféricos. Estes acontecimentos levaram à criação da Comissão Intermunicipal de Controle da Poluição das Águas e do Ar – CICPAA que foi vinculada à Secretaria de Saúde do Estado de São Paulo (CETESB, 2018).

Posteriormente, após uma revisão dos padrões de qualidade do ar, o Estado de São Paulo publicou o Decreto nº 59.113, de 23 de abril de 2013, que estabelece etapas intermitentes dentro de um projeto para alcançar os padrões estabelecidos pela OMS (2018).

### **3.2.3 Dispersão dos poluentes e meteorologia**

O processo de urbanização mundial desencadeou significativamente os problemas ambientais urbanos devido à intensa troca de energia entre a superfície e a atmosfera, ganhando espaço para discussões sobre mudanças climáticas na escala local. O estudo da poluição atmosférica em escala local ou regional ocorre através de redes de monitoramento da qualidade do ar, buscando a segurança da saúde humana e do ambiente (MOREIRA et al, 2008). O ambiente socialmente construído, com mudanças no uso do solo junto a atividades socioeconômicas, altera a paisagem natural e contribui com a formação do clima urbano. Um dos principais impactos associados à urbanização é o aumento da poluição atmosférica, que interfere na qualidade ambiental e recai, principalmente na saúde da população (DORIGON; CARDOSO, 2015).

Portanto, as análises de dados meteorológicos, a definição de períodos críticos, o monitoramento dos poluentes e a modelagem matemática para a simulação da qualidade do ar são as ferramentas principais para o planejamento de novas atividades industriais. Também auxiliam no estabelecimento de planos de controle de poluição do ar que influenciem positivamente na qualidade do ambiente urbano. Esta

análise meteorológica é de bastante importância para estudos de impacto em áreas industriais para que seja determinado os poluentes que serão emitidos na atmosfera considerando a condição meteorológica favorável ou desfavorável à dispersão de poluentes (LISBOA, 2007).

A atmosfera exerce sobre os poluentes atmosféricos fenômenos conhecidos como difusão e convecção. A concentração de uma substância na atmosfera varia no tempo e no espaço em função de reações químicas e/ou fotoquímicas, fenômenos de transporte, fatores meteorológicos (como ventos, turbulências e inversões térmicas) e da topografia da região (MOREIRA et al, 2008; LISBOA, 2007).

A poluição do ar tem caráter transfronteiriço devido às características da circulação atmosférica e devido à permanência de alguns poluentes na atmosfera por largos períodos de tempo, impactando negativamente localmente, regionalmente e até globalmente. Deste modo, as ações de prevenção e redução dos efeitos da degradação da qualidade do ar são necessárias em todas as escalas, de maneira compatível com o desenvolvimento industrial e social (LEAL et al, 2008).

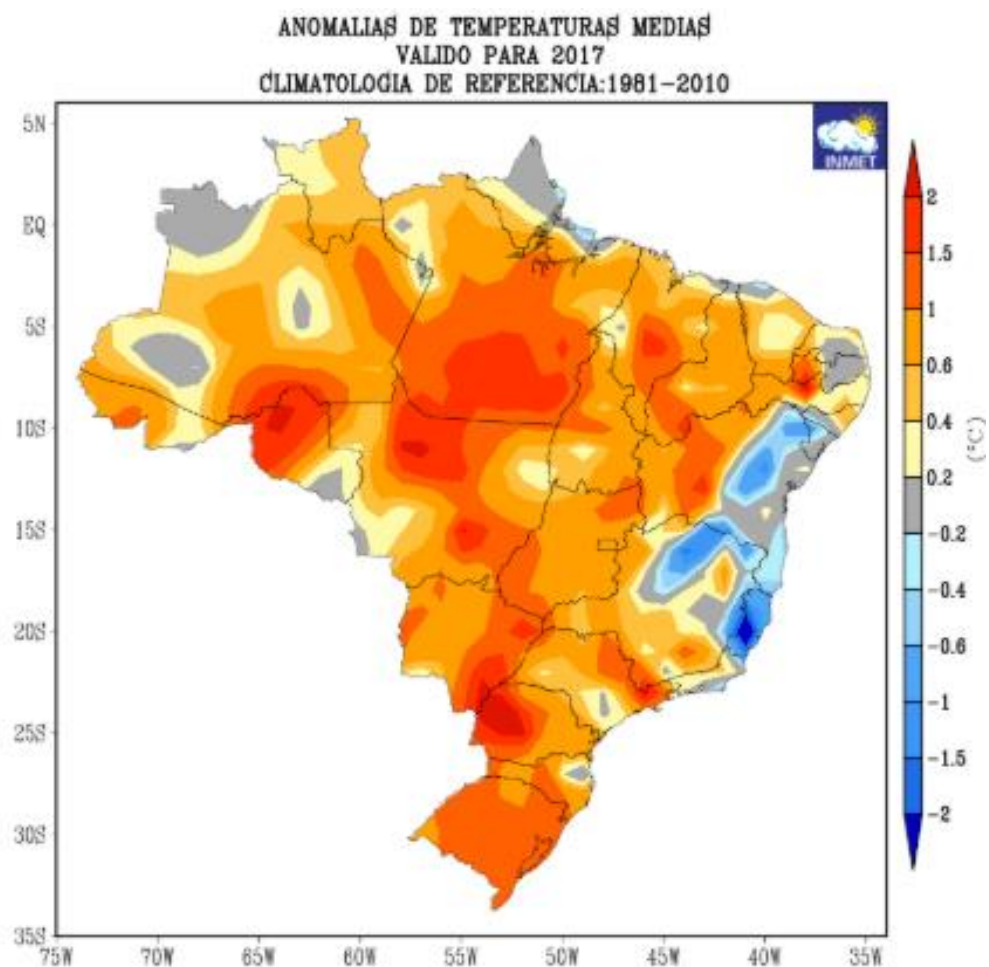
Na região Sudeste do Brasil, onde fica localizado o Estado de São Paulo, os padrões climatológicos são bastante diversificados devido à topografia acidentada, apresentando alta variabilidade térmica, pluviométrica, hídrica e eólica. Devido à sua posição geográfica, seu relevo, morfologia e articulação das correntes oceânicas, o Estado se encontra no limite entre duas zonas climáticas envolvido pelas principais correntes da circulação atmosférica da América do Sul. Grande parte do seu território, ao norte do Trópico de Capricórnio, desenvolve-se a zona climática intertropical em que o clima é controlado pelos sistemas atmosféricos equatorial e tropical. Ao Sul, desenvolve-se a zona climática subtropical com climas controlados por sistemas tropicais e polares (MONTEIRO, 1973).

Dentre os parâmetros disponíveis para analisar de uma visão macro do Estado de São Paulo, a temperatura é um dos fatores mais importantes na relação de dispersão dos poluentes. Isto porque este fator pode intervir tanto na química dos poluentes quanto na dispersão vertical na atmosfera. A variação de temperatura no Estado de São Paulo varia entre as estações e entre a localização dos municípios, estando na média um comportamento térmico que varia quanto à proximidade do litoral (18 a 22°C) e a porção mais continental (20 a 26°C). Alterações quanto à temperatura média anual podem variar a longo prazo, tanto por fatores locais e



regionais como a mudança no uso do solo, mas também pode ser associado a questões globais como o aquecimento global. A Figura 6 retirada da publicação do INMET (2017), demonstra as anomalias de temperaturas médias que ocorreram no território brasileiro, tendo como base as normais climatológicas realizadas para os anos de 1981-2010. Estas anomalias climáticas referem-se a uma flutuação extrema de um elemento em uma série climatológica, com desvios acentuados do padrão observado de variabilidade, podendo influenciar, inclusive o índice pluviométrico. Observa-se que no Estado de São Paulo houve um crescente nas temperaturas médias esperadas na maior parte do território, variando entre 0,2 a 2°C. Apenas uma pequena parte do território do estado apresentou uma queda na temperatura média esperada de aproximadamente -0,2°C.

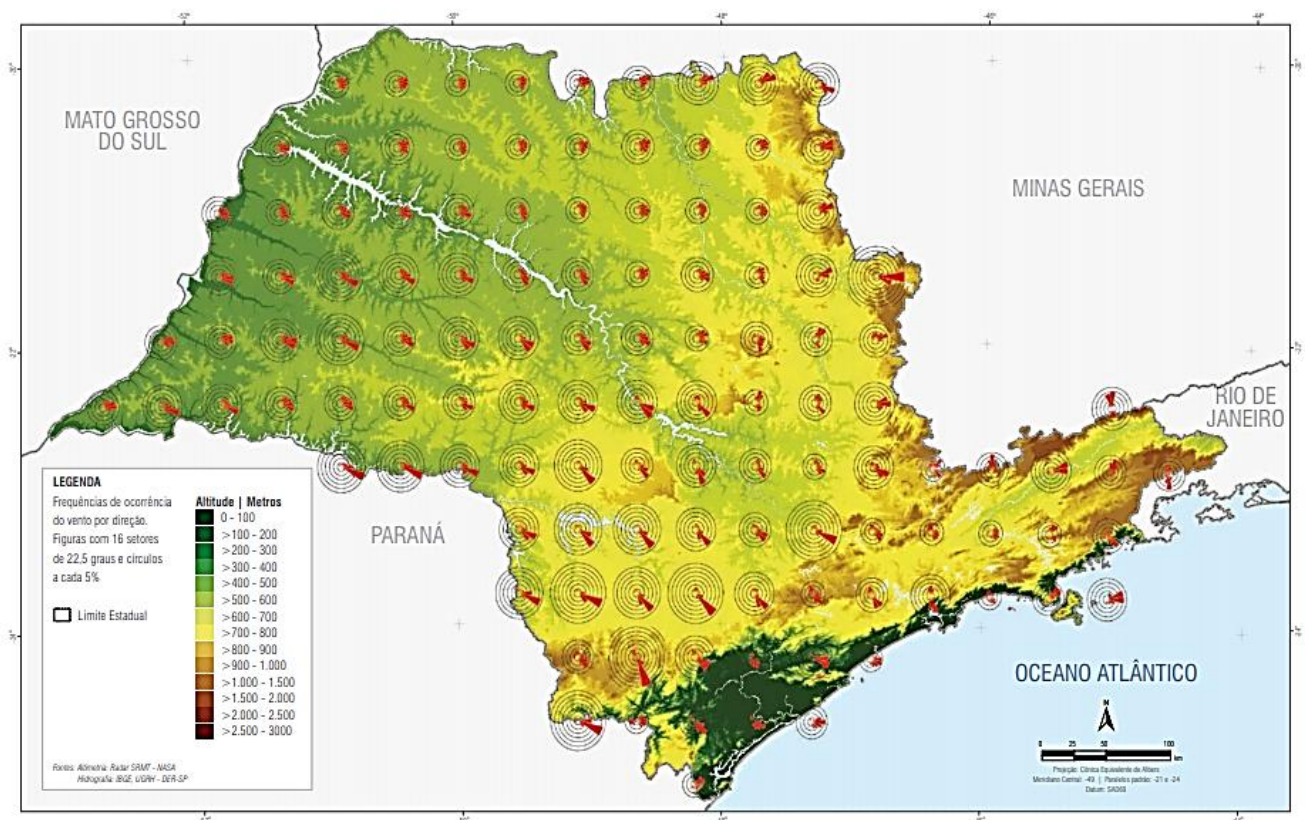
Figura 6: Anomalias nas temperaturas médias (°C) observadas no Brasil durante o ano de 2017 baseado nas normais climatológicas de 1981-2010.



Fonte: INMET, 2017.

A precipitação pluviométrica está diretamente associada a uma boa dispersão dos poluentes atmosféricos. A chuva, formada por gotas de água, solubilizam os poluentes gasosos e partículas, provocando sua deposição sobre o solo e outras superfícies, diminuindo a concentração no ar ambiente. Quanto aos ventos, a velocidade e a intensidade destes contribuem com a diluição dos poluentes, misturando-os com o “ar limpo”. A velocidade dos ventos determina a produção da turbulência mecânica, responsável pela dispersão local. Os ventos sofrem também com as condições meteorológicas e obstáculos encontrados na superfície terrestre que podem diminuir sua velocidade. A ausência de ventos favorece a concentração de poluentes, enquanto ventos moderados favorece a dispersão destes. Os ventos fortes, porém, podem provocar efeito de penacho, concentrando a poluição na direção de ventos predominantes. A Figuras 7 demonstra a direção predominante dos ventos no Estado de São Paulo e a velocidade média anual dos ventos, respectivamente, permitindo uma visão ampla da área de estudo.

Figura 7: Rosa dos Ventos no Estado de São Paulo.



Fonte: SÃO PAULO, 2012.

### 3.3 Impactos Sociais

O crescimento populacional, o desenvolvimento socioeconômico e a expansão urbana também contribuem de maneira complexa com a poluição do ar. O aumento da produção e do consumo demanda cada vez mais recursos naturais, influenciando na dinâmica industrial devido ao consumismo de bens e serviços e a exportação para regiões estrangeiras (CRAMER, 2002). Em torno de 80% da população que reside em áreas urbanas estão expostas a níveis de qualidade do ar que não respeitam os limites determinados pela OMS (WHO, 2016).

Ainda assim, independentemente do nível de produção industrial de cada país e seu respectivo poder econômico e tecnológico, em qualquer nação é possível sofrer os mais diversos impactos de poluição atmosférica e efeitos adversos na saúde. Este fenômeno também ocorre devido à poluição transfronteiriça e seus impactos associados, que se intensificam com o avanço da globalização e com a exportação de bens de consumo para regiões distantes do polo produtor (ZHANG et al, 2017). Dessa forma, os impactos são sentidos em locais distintos da fonte que origina os poluentes, por meio da intensificação do comércio ou pela dinâmica atmosférica de transporte de poluentes (LIN et al, 2013).

Muitos estudos relacionam a poluição atmosférica com a incidência de doenças pulmonares e cardiovasculares, tais como acidentes vasculares cerebrais, doenças cardíacas, câncer de pulmão, doenças pulmonares obstrutivas crônicas e infecções respiratórias, incluindo pneumonia (MACINTYRE, et al. 2014; CÉSAR, et al. 2016; NEWELL, et al. 2017; MACHIN; NASCIMENTO, 2018; WHO, 2016). A maior parte das mortes relacionadas a este tipo de poluição ocorre em países de baixa e média renda (somando mais de 90%), principalmente na Ásia e na África, seguidos por países de baixa e média renda das regiões do Mediterrâneo Oriental, Europa e Américas (OMS, 2018).

Segundo o estudo de Zhang *et al.* (2017) é possível mensurar o impacto negativo do consumo devido à intensificação do comércio global. Desta forma, é de extrema importância que a qualidade do ar urbano se torne uma prioridade de saúde e desenvolvimento das cidades, isto porque a maior parte das fontes de poluição atmosférica urbana exige ação das autoridades que promovam transporte mais limpo, produção de energia mais eficiente, gerenciamento de resíduos, redução de emissões

industriais das chaminés, aumento do uso de fontes de energias renováveis e priorização das redes de transporte coletivo (WHO, 2016).

### 3.3.1 Impactos na saúde

A saúde ambiental e o ar limpo são considerados requisitos básicos para o conforto humano, saúde e bem-estar (ZHANG et al, 2017). O ar é essencial para vida e o ato de respirar promove o contato direto do ser vivo com os poluentes atmosféricos, trazendo uma ligação da qualidade do ar com a exposição humana que geram impactos nocivos à saúde pública (FERREIRA, 2007). Ao longo da história, desde a Revolução Industrial, diversos episódios de elevados níveis de poluição do ar trouxeram a atenção aos efeitos dos poluentes na saúde pública (DOCKERY; POPE, 1994).

Dentre os episódios mais preocupantes, o evento do smog em Londres no ano de 1952, na qual foram registradas mais de quatro mil mortes em duas semanas devido ao nevoeiro que misturava diversos gases e partículas tóxicas. Em resposta ao ocorrido, foi criada uma Unidade de Pesquisa de Poluição do Ar do Conselho de Pesquisa Médica, junto à programas de redução de emissões de fumaça como o Clean Air Act em 1956, reduzindo consideravelmente os níveis de poluição de Londres até a década de 70. Apesar desta redução, pesquisadores indicaram que a poluição do ar ainda era um risco para a saúde da população (MAYNARD, 2015).

Ainda na década de 1970, foram estabelecidas conexões entre doenças respiratórias e a poluição do ar, principalmente em regiões urbanizadas onde ocorre exposição aguda (NAKAGAWA *et al.*, 2010), sendo notáveis impactos negativos nas comunidades e no meio ambiente (DRUMM *et al.*, 2014). Diversos estudos relacionam os efeitos sobre a saúde com os poluentes do ar, principalmente nos últimos trinta e cinco anos (MAYNARD, 2015). Estes impactos à saúde humana podem ser avaliados em duas categorias, sendo a morbidade<sup>1</sup> e a mortalidade<sup>2</sup>, trazendo diferentes custos públicos e privados diretos, como a perda de produtividade, atividades restritas ou morte prematura e despesas médicas (MIRAGLIA, GOUVEIA, 2014).

Os efeitos decorrentes da exposição à poluição atmosférica variam tanto na gravidade dos sintomas e doenças, quanto na proporção da população afetada

---

<sup>1</sup> Em epidemiologia, são os portadores de doenças crônicas ou agudas.

<sup>2</sup> Óbitos devido a doenças.

(Figura 8). A partir do conhecimento das diferenças entre morbidade e mortalidade, a adoção de medidas se torna mais eficaz para atingir um número maior de indivíduos de maneira mais efetiva (YORIFUJI et al, 2010).

Figura 8: Representatividade dos efeitos na saúde pública em relação à poluição atmosférica.



Fonte: Adaptado de WHO, 1999 e Hollander et al, 1999, apud Moraes, 2010.

Segundo estudos da OMS, mais de dois milhões de pessoas morreram prematuramente a cada ano atribuindo aos efeitos da poluição do ar desde o século XXI. Milhares de mortes prematuras causadas pela exposição à poluição atmosférica no mundo são estimadas devido ao transporte atmosférico da poluição e pela globalização de atividades poluidoras, influenciadas pelo consumo (ZHANG *et al.*, 2017). A qualidade do ar deteriorada é um dos cinco principais riscos para a saúde no mundo todo, junto com a hipertensão arterial, tabagismo, diabetes e excesso de peso (LELIEVELD, POSCHL, 2017). De uma forma geral, a qualidade do ar é produto da interação de diversos fatores como a intensidade das emissões, a topografia e as condições meteorológicas da região, que podem dificultar ou facilitar a dispersão dos poluentes.

No Irã, apesar dos dados sobre poluição e efeitos na saúde serem limitados, estudos indicam excesso de mortalidade por doenças cardiovasculares, sendo 188 mortes prematuras associadas ao  $MP_{10}$ , principalmente devido às fábricas, meios de transporte e fontes de energia utilizadas na região (KHANIABADI, et al. 2016). Este e outros episódios ocorridos, principalmente na Europa e nos Estados Unidos, impulsionaram estudos na área da epidemiologia para buscar os efeitos dos poluentes

atmosféricos sob a saúde, estabelecendo então os primeiros padrões de qualidade do ar (DAPPER et al, 2016).

A maior ênfase tem sido colocada nos efeitos das partículas transportadas pelo ar, principalmente em locais com concentrações elevadas de poluentes. Os países com maior índice de mortes prematuras são os países em desenvolvimento, principalmente a China e a Índia que apresentam elevados índices de emissão de poluentes atmosféricos devido a sua intensa atividade urbana e industrial para fins de comércio global (LUO *et al*, 2017). Em 2015 a poluição do ar contribuiu para aproximadamente 8% de todas as mortes no mundo, sendo que mais de 90% da população mundial (cerca de 7 bilhões de pessoas) estão expostos à poluição do ar livre, considerado um “tabagismo ao ar livre”. Em média, cada pessoa afetada morre 28 anos mais cedo do que as pessoas expostas a um ar limpo, totalizando cerca de 120 milhões de anos de vida humana perdidos a cada 5 anos (LELIEVELD; POSCHL, 2017).

Estudos toxicológicos e epidemiológicos relacionam a concentração de poluentes desde o desconforto até a morte, mas principalmente, agrava doenças respiratórias (GOSS et al, 2004) e cardiovasculares (PETERS et al, 2001; POPE et al, 2002), incluindo também neoplasias (YORIFUJI, 2010), irritação dos olhos (MARCO et al, 2010), aumentos da suscetibilidade de infecções virais (UMETSU; DEKRUYFF, 2010), redução da performance física (DE ZWART et al, 2018), dores de cabeça (DALES et al, 2009), alterações motoras e enzimáticas, agravamento de doenças crônicas do aparelho respiratório como asma (SLAUGHTER, 2003; AMÂNCIO, 2012), bronquite, enfisema e pneumonias, danos ao sistema nervoso central, câncer (DENG et al, 2013; ECKEL et al, 2016), alterações genéticas (GILLILAND, 2009) e até mesmo nascimento de crianças com defeitos genéticos e baixo peso ao nascer (ROMÃO et al, 2013), estando em questão o limite de concentração de poluentes que poderiam afetar a população significativamente (YOU, 2014). A faixa da população que mais sofre com os efeitos desta poluição são as crianças e idosos e pessoas que já sofrem com problemas crônicos do aparelho respiratório (BAKONYI et al., 2004; SILVA et al., 2013; BENTAYEB, 2012). Ainda que nem todos os efeitos da interação entre a poluição e a saúde das pessoas são totalmente conhecidos (DAPPER et al, 2016).

O poluente mais prejudicial à saúde e que está mais associado a mortes prematuras e impactos negativos à saúde pública são o  $MP_{10}$  e  $MP_{2,5}$ , que são

facilmente inaladas devido ao seu tamanho e aerodinâmica, penetrando no pulmão dos indivíduos (SILVA et al, 2017). O maior índice de mortes prematuras por  $MP_{10}$  varia entre as regiões devido à época do ano, a geografia e principalmente pela quantidade e tipo de fontes de poluição (MIRAGLIA; ABE, 2017). Segundo a OMS, em 2010 a poluição por  $MP_{2,5}$  foi o sexto maior fator de risco para a mortalidade prematura global. Quando a qualidade do ar melhora, as doenças globais respiratórias e cardiovasculares diminuem, reduzindo custos de saúde decorrentes de doenças relacionadas com a poluição do ar, aumentando a produtividade dos trabalhadores e expandindo a expectativa de vida (DENG et al, 2013; APTE et al, 2015; BELL, 2006). A melhora da qualidade do ar também beneficia os tratados climáticos entre os países, onde reduzir de 70 para 20  $\mu g/m^3$  a concentração de  $MP_{10}$  poderia reduzir em aproximadamente 15% das mortes relacionadas à poluição do ar (OMS, 2016; SILVA et al, 2017).

### **3.3.2 Impactos na saúde no Estado de São Paulo**

No Estado de São Paulo, estudos também associaram a poluição atmosférica à impactos na saúde, principalmente quanto às doenças respiratórias e cardiovasculares. A maior parte das emissões dos poluentes são provenientes das atividades industriais, circulação crescente de veículos e construções urbanas, cenário bastante marcante do estado. Além disso, a dinâmica da atmosfera contribui com uma condição desfavorável para a dispersão de poluentes em algumas épocas do ano, aumentando os impactos sobre a saúde da população (GUERRA; MIRANDA, 2011; VIEIRA-FILHO et al, 2015).

Para Ribeiro et al (2016), residir em áreas contaminadas por poluentes industriais apresenta um alto fator de risco para hipertensão. Na região litorânea de São Paulo, no município de Cubatão, o estudo de Nardocci et al (2013), constatou o aumento de impactos na saúde em casos de maior concentração de  $MP_{10}$  na cidade, causando excesso de internações de 4,25% para doenças respiratórias totais, 5,74% para doenças respiratórias em menores de 5 anos e 2,29% para doenças cardiovasculares em maiores de 39 anos. Jasinski et al (2011) também realizaram um estudo para análise de internações decorrentes da associação com  $MP_{10}$  e ozônio ( $O_3$ ) na cidade, resultando no aumento de 9,6% e 2,4%, respectivamente para os poluentes, para internações de crianças e adolescentes. Gioia et al (2017) relacionou

a emissão do poluente chumbo (Pb) atmosférico, constatando impactos negativos na saúde da população de Cubatão, excedendo os Padrões de Qualidade do Ar para o poluente.

Tayra et al (2012) que também analisaram o município de Cubatão, constataram que os gastos em saúde pública da cidade, comparados com cidades próximas localizadas na Região da Baixada Santista (Guarujá e Peruíbe), foram muito elevados. Consequência da atividade industrial mais intensa, Cubatão apresentou maiores gastos com doenças dos aparelhos circulatório e respiratório, resultando em R\$ 22,1 milhões de reais no período de 2000 a 2009.

Na cidade de São Paulo, município foco de muitos estudos, tem sido constatado impactos na saúde semelhantes às demais regiões do estado, mas com grande incidência devido à sua grande população (PINHEIRO et al, 2014; YANAGI et al, 2012). Estes impactos também são bastante evidenciados na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Dentre as cidades, Guarulhos, Mauá, Santo André e São Bernardo do Campo. Gouveia et al (2017) e Pinheiro et al (2014), avaliaram os impactos da poluição do ar na RMSP e na cidade de São Paulo sobre as internações por doenças respiratórias e cardiovasculares, aumentando os riscos para internações hospitalares, principalmente para doenças respiratórias. Segundo estudo de Yanagi et al (2012), o  $MP_{10}$  urbano contribui para o aumento da incidência de alguns tipos de câncer e a mortalidade por esta doença, sendo necessárias medidas de redução do poluente e seu contínuo monitoramento.

Em efeitos na saúde de crianças e bebês da RMSP, Gomes et al (2013) apontou associação significativa de um aumento de duas vezes entre o risco de internação por asma em crianças expostas a concentrações de  $MP_{10}$  em relação a crianças não expostas na Grande São Paulo. O aumento dos poluentes  $MP_{10}$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ , CO e  $O_3$  também são associados com o aumento de atendimentos de emergência pediátrica total em São Paulo, afetando a saúde cardiovascular e agravando outras doenças como a anemia falciforme (BARBOSA et al, 2015). Romão et al (2013) observou que, mesmo com concentrações de  $MP_{10}$  dentro dos padrões de qualidade do ar, houve relação entre a exposição ao poluente e baixo peso ao nascer, principalmente se esta exposição ocorrer durante o terceiro trimestre gestacional.

O estudo de Abe e Miraglia (2016) considerou que, ao atingir padrões de  $MP_{2,5}$  da OMS ( $10 \mu g / m^3$ ), São Paulo evitaria mais de 5012 mortes prematuras (o



equivalente a 266.486 ganhos de anos de vida) e economizaria US\$ 15,1 bilhões anuais. Se São Paulo pudesse até diminuir a média de  $MP_{2,5}$  em  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , quase 1724 mortes seriam evitadas, resultando em um ganho de US\$ 4,96 bilhões anuais.

Na cidade de São José dos Campos, o número de hospitalizações devido à exposição a partículas de poluentes e dióxido de enxofre também cresce entre 8% a 19%, aumentando os riscos de doenças como asma (AMÂNCIO; NASCIMENTO, 2012), acidentes vasculares cerebrais (NASCIMENTO et al, 2012; AMÂNCIO; NASCIMENTO, 2014), internação por hipertensão (NASCIMENTO; FRANCISCO, 2013), número de partos prematuros (LIMA et al, 2014) e baixo peso ao nascer (SANTOS et al, 2014).

Já no interior do estado, as cidades de Jundiaí, Paulínia, Piracicaba e Sorocaba, que também foram alvo de estudos epidemiológicos. Em Sorocaba, o aumento no risco de internação por acidente vascular encefálico devido à exposição ao dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ) pode aumentar em até 4 pontos se houver o incremento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nas concentrações desse poluente (GAVINIER; NASCIMENTO, 2014). Os impactos também são sentidos pela população em diferentes faixas etárias e tempo de exposição, sendo que para Freitas et al (2013), os indicadores de doenças respiratórias totais e doenças respiratórias em menores de 5 anos são os mais indicados para fins de vigilância. A exposição por  $MP_{2,5}$  também aumenta em 0,7% do risco relativo, aumentando as internações por doenças respiratórias em crianças (CESAR et al, 2013).

### **3.4 Desenvolvimento sustentável e políticas públicas**

A poluição atmosférica é vista como um desafio para o desenvolvimento sustentável. Apesar de diversos avanços nas últimas décadas em relação a controle e práticas para melhora da qualidade do ar, os atuais níveis de poluição atmosférica ainda trazem diversos danos à economia, à saúde, e ao meio ambiente, mesmo quando estes poluentes se encontram abaixo do determinado pela legislação (DAPPER et al., 2016).

A mudança climática pode afetar a qualidade do ar local e regional com mudanças nas taxas de reações químicas, altura das camadas limite que afetam a mistura vertical de poluentes e mudanças nos padrões sinóticos de circulação atmosférica que gerenciam o transporte de poluentes. Dentre as fontes de incerteza,

estão a mudança climática futura, emissões de poluentes do ar e seus precursores e como a vulnerabilidade da população poderá ser modificada no futuro (EBI; MCGREGOR, 2009).

Dentre as principais conferências que ocorreram para discutir sobre questões ambientais, a Conferência das Nações Unidas, que ocorreu em Estocolmo em 1972, a Convenção de Viena em 1985 e a Conferência ECO-92 que ocorreu em 1992 no Rio de Janeiro. Estas conferências foram marcos importantes para a universalidade do direito ambiental, na qual a sociedade tomou consciência da globalização dos problemas ambientais e da necessidade de proteção ao meio ambiente (STEINMETEZ et al., 2013). Os eventos reuniram diversas nações para discutir problemas ambientais mundiais. Estes encontros deram base posteriormente para diversos relatórios e encontros importantes como: o Relatório Brundtland (1987), a Carta da Terra (primeira versão em 1992 e sua última versão em 2000), a Agenda 21 (1992), a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança no Clima e o Protocolo de Kyoto (1997).

O desenvolvimento sustentável quando proposto pelo Relatório Brundtland (1987) já demonstrou incompatibilidade entre os padrões de produção e consumo atuais (MIRAGLIA et al., 2005) em que seria necessário que as nações seguissem alguns princípios para permitir a capacidade das futuras gerações em satisfazerem suas próprias necessidades. A problemática da poluição atmosférica se enquadra no histórico de evolução do conceito de desenvolvimento sustentável que se inicia no Clube de Roma em 1968 e a publicação de “Limites do crescimento” (OLIVEIRA et al, 2012) e que já se constatava que o crescimento econômico deveria ser sustentável, debatendo sobre o futuro da humanidade e tratando sobre assuntos como energia, poluição, saneamento, saúde, ambiente, tecnologia e crescimento populacional.

Foi após a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente e Desenvolvimento em 1992 que foi intitulada a Agenda 21 e a Convenção sobre Alterações Climáticas, Convenção sobre Diversidade Biológica. A Agenda 21 global da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento apresenta capítulos de grande importância para este estudo, como os capítulos 2, 4, 6, 7, 8 e 9 que tratam principalmente sobre o desenvolvimento sustentável, a criação e coparticipação entre as nações para políticas públicas, a proteção da saúde humana, a mudança no padrão de consumo e produção e a proteção à atmosfera. Um maior destaque será dado para

o Capítulo 9 que trata sobre a Proteção da Atmosfera, de maneira a correlacionar com os demais capítulos de interesse.

No capítulo 9 da AGENDA 21 sobre Proteção da Atmosfera, a Área de Programas A que trata sobre a consideração de incertezas na base científica e na tomada de decisão e a Área B sobre promoção e desenvolvimento sustentável, os itens “i. – desenvolvimento, eficiência e consumo de energia” e o item “iii – desenvolvimento sustentável”. Por fim, ainda se destaca a Área D que trata sobre poluição atmosférica transfronteiriça.

Segundo o Capítulo 9, Área de Programas A, é necessário melhorar a compreensão das propriedades da atmosfera e dos ecossistemas afetados bem como suas consequências para a saúde e as interações com os fatores socioeconômicos. Para isto os governos devem aumentar e intensificar a cooperação internacional, melhorando medidas de mitigação para estas mudanças.

Na Área de Programas B destaca-se a importância da energia para o desenvolvimento social e econômico, buscando energias renováveis e eficiência no custo e efeito na utilização da energia. Ainda na Área B, a busca pelo aumento da eficiência dos recursos e das matérias-primas, o aperfeiçoamento das tecnologias de redução da poluição e redução de resíduos e subprodutos deve ser fortalecida no desenvolvimento industrial.

Por fim, na Área D que trata sobre poluição atmosférica transfronteiriça é necessário o desenvolvimento e aplicação de tecnologias de controle e medição da poluição atmosférica produzida por fontes fixas e móveis, além de observar e avaliar as fontes e a extensão deste tipo de poluição decorrente de processos naturais e de atividades antrópicas e reduzir estas emissões para mitigar seus efeitos. Também se objetiva o fortalecimento dos países em desenvolvimento em medir, modelar e avaliar o destino e os impactos deste tipo de poluição, pois os mesmos também produzem a poluição atmosférica e apresentam recursos técnicos e econômicos limitados para lidar com a problemática. É necessário ainda o desenvolvimento da capacidade de avaliar e mitigar este tipo de poluição e estimular a adoção de acordos regionais que trarão novos rumos à problemática.

Conforme relatado acima, através da Agenda 21, a problemática tratada por este estudo já é de conhecimento internacional e nacional sobre os impactos das atividades industriais, as emissões de poluentes pelas mesmas e os danos à saúde,

ao meio ambiente e à economia local. O Brasil adotou diversos programas para redução da poluição atmosférica e algumas ações, entre elas a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), instituída pela Lei nº 12.187 de 2009. Além disso, o estabelecimento de padrões de poluição do ar também limita e controla, mesmo que dentro de suas especificidades, as condições da qualidade do ar nas cidades brasileiras. A criação de políticas públicas e a atualização dos padrões de qualidade do ar se fazem necessárias sempre a nível nacional, estadual e municipal, buscando atingir uma melhora local, regional e conseqüentemente internacional. Nesse sentido, a gestão ambiental e urbana preocupa-se com a administração de recursos para atendimento de metas estabelecidas sob o critério ambiental e econômico (MIRAGLIA *et al.*, 2005).

As políticas públicas podem, além de tudo, usufruir de ferramentas como a valoração econômica para demonstrar o custo-benefício em saúde pública que auxiliam na tomada de decisão. Esta é uma ferramenta aliada para a tomada de decisões de políticas públicas voltadas à saúde. Ao valorar os impactos à saúde humana mensura-se estes em unidades monetárias, associando com valores econômicos aos custos de saúde, custos totais das doenças ou disponibilidade de pagar por uma redução dos efeitos (MIRAGLIA; GOUVEIA, 2014).

As futuras ações políticas devem também beneficiar a melhor compreensão das interações e efeitos na saúde de diferentes poluentes e fontes, atingindo um novo entendimento que requer o trabalho conjunto de diversos cientistas das áreas ambientais e da área de saúde. Este entendimento deverá ser monitorado, observado e medido através de tecnologias juntamente com modelos que caracterizem da melhor forma possível a exposição à poluição, quantificando seus efeitos sobre os setores econômicos e que dê origem a novas estratégias de mitigação (WEST *et al.*, 2016).

### **3.5 Revisão do artigo Zhang *et al* (2017)**

O artigo denominado “Transboundary health impacts of transported global air pollution and international trade”, publicado pelos autores Zhang *et al* (2017), foi uma referência metodológica para este estudo. A área de estudo dos autores ocorreu em 13 regiões diferentes do globo terrestre (China, demais países do leste da Ásia, Índia, demais países da Ásia, Rússia, Europa Ocidental, Europa Oriental, Estado Unidos da

América, Canadá, Médio Oriente e Norte da África, América Latina, África Subsaariana, e demais países não mencionados) no ano de 2017.

O estudo abordou a problemática da mortalidade prematura, que seria a morte antes da expectativa de vida da população, causada pela exposição ao  $MP_{2,5}$ . A poluição foi associada a fontes industriais locais na China, além do transporte atmosférico de poluição de fontes distantes, a qual ele denomina “poluição transfronteiriça”. Esta poluição tem sido elevada, devido ao intenso consumo e intensificação do comércio internacional (importação e exportação), em que os países tem colaborado para a “globalização das emissões”. Isto significa que, a quantidade de poluição que é transportada entre regiões tem aumentado devido à dinâmica da atmosfera e também devido à quantidade de emissões na região produtora (área em que está localizada a fonte da emissão).

Este artigo foi de grande relevância, pois normalmente os estudos dos efeitos entre a poluição atmosférica e impactos na qualidade do ar e na saúde tem sido realizado a nível local. Eles analisaram os impactos na saúde a nível global e associaram estes efeitos ao comércio internacional e ao transporte da poluição entre regiões diferentes.

A metodologia utilizada pelos autores abordou quatro modelos globais que permitiram estimar a mortalidade prematura causada por  $MP_{2,5}$ , obtendo resultados para o transporte atmosférico e a produção de bens e serviços em diferentes regiões do mundo. Dentre estes modelos, a fim de analisar como ocorreu o transporte da poluição entre as regiões do globo, utilizaram o modelo de transporte de produtos químicos GEOS-Chem. Os dados para mortalidade prematura por exposição ao  $MP_{2,5}$  foram obtidos através do estudo Global Burden of Disease (GBD). Os autores calcularam a quantidade de poluição atmosférica emitida que é atribuída à região que consome a mercadoria e não à região que realiza a produção. Isto foi possível mostrando a diferença entre as emissões de onde ocorreu a produção e onde os bens e serviços foram consumidos, destacando as emissões incorporadas no comércio líquido de mercadorias e serviços entre as regiões.

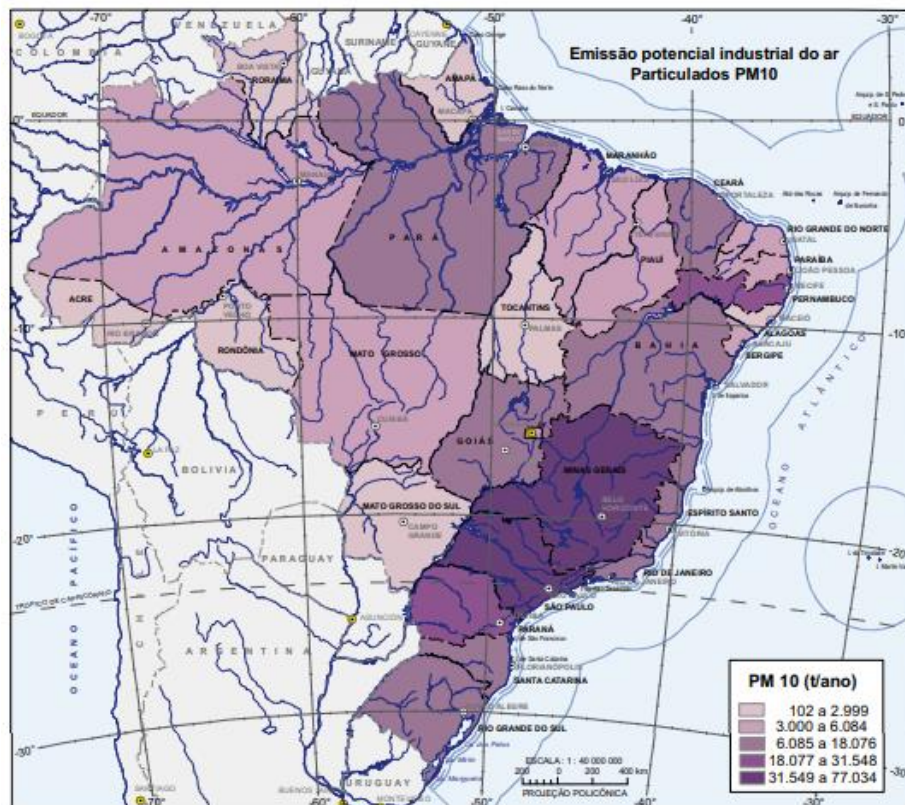
Dentre os resultados encontrados, 3,45 milhões de mortes prematuras foram relacionadas à poluição por  $MP_{2,5}$  em todo o mundo no ano de 2017. Cerca de 12% (411,1 mil mortes), foram relacionadas a poluentes atmosféricos emitidos em uma região do mundo diferente daquela em que ocorreu o óbito e cerca de 22% (762.400

mortes), foram associados a bens e serviços produzidos em uma região para consumo em outra. A poluição por  $MP_{2,5}$  produzida na China em 2007, está ligada a mais de 64.800 mortes prematuras em outras regiões além da China, incluindo mais de 3.100 mortes prematuras na Europa Ocidental e nos EUA. O consumo na Europa Ocidental e nos EUA está ligado a mais de 108.600 mortes prematuras na China.

Por fim, os autores concluem que os impactos na saúde associados ao  $MP_{2,5}$  foram maiores devido ao comércio internacional (importação e exportação de bens e serviços entre regiões diferentes) do que os impactos associados ao transporte de poluentes atmosféricos em longas distâncias (transfronteiriço devido à dinâmica da atmosfera).

Este estudo foi uma das grandes motivações para esta dissertação, visto que no Brasil não há estudos que inter-relacionem os dados entre produção industrial e efeitos adversos na saúde da população. Desta forma, uma área relevante do Estado de São Paulo, conciliando os dados disponíveis durante o período de estudo de 2008 a 2016. O Estado de São Paulo foi escolhido, pois segundo o Atlas Nacional do Brasil do IBGE (2010), este é um dos estados que mais apresenta potencial de poluição industrial por  $MP_{10}$  (t/ano), como observado na Figura 9 a seguir. Entretanto, não foi possível reproduzir o estudo de Zhang et al (2017), porém foi realizada uma adequação ao que seria reprodutível dentro do cenário. As dificuldades encontradas para esta adaptação podem ser vistas no item 6.1 deste documento.

Figura 9: Poluição Industrial Potencial de MP<sub>10</sub> no Brasil



Fonte: Adaptado de IBGE, 2010.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizada a revisão bibliográfica e levantamento de dados secundários disponíveis para obtenção de material referente aos assuntos propostos e que se constituem nos dados de entrada para a análise (consumo de energia elétrica pelo setor industrial, emissão de  $MP_{2,5}$  nos municípios selecionados e número de mortes por doenças cardiorrespiratórias que foram relacionadas à poluição de  $MP_{2,5}$ ).

A primeira parte deste trabalho apresenta a evolução da qualidade do ar e da mortalidade por doenças cardiorrespiratórias (taxa por 100.000 habitantes) e do consumo de energia no período de estudo. A segunda parte caracteriza os impactos destes poluentes na saúde da população nos municípios estudados.

### 4.1 Parâmetros de seleção da área de estudo

A fim de conduzir a presente pesquisa, definiu-se os critérios de seleção dos municípios que irão compor o estudo. Este estudo buscou analisar os municípios com maior consumo energético no setor industrial do Estado de São Paulo, utilizando como base o Anuário Estatístico Energético por Município no Estado de São Paulo. Este documento está disponível para os anos base de 2007 a 2016, tendo sido publicados no portal da Secretaria de Energia e Mineração do Governo do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2017).

Após realizar a seleção dos municípios que mais consomem energia elétrica pelo setor industrial, realizando um levantamento dos dados disponíveis para cada uma das cidades no Relatório de Qualidade do Ar da CETESB de 2017. Nesta segunda filtragem, os municípios devem apresentar dados suficientes sobre o monitoramento do poluente  $MP_{10}$  durante os anos de 2008 a 2016, para que seja possível conduzir a análise deste estudo. A partir do levantamento da concentração de  $MP_{10}$ , foi feita uma conversão destes valores para  $MP_{2,5}$ , como será explicado adiante, pois este será o poluente estudado. Não foram utilizadas as concentrações de  $MP_{2,5}$  disponíveis, pois nem todas as cidades e estações de monitoramento apresentavam estes valores, e para que houvesse uma padronização nos dados levantados utilizando as concentrações de  $MP_{10}$  para o mesmo período.



## 4.2 Fonte de dados

A busca por artigos foi realizada através das seguintes fontes: Scielo, Google Acadêmico e Periódicos Capes. O levantamento de publicações se deu, principalmente em duas etapas, sendo: (i) histórico da poluição atmosférica e (ii) impactos na saúde.

A busca pelos artigos foi organizada de forma a buscars as seguintes palavras-chave:

- Etapa (i): air pollution; health impacts; particulate matter; poluição atmosférica; efeitos na saúde; material particulado.
- Etapa (ii): Cubatão; Guarulhos; Jundiaí; Mauá; Paulínia; Piracicaba; Santo André; São Bernardo do Campo; São José dos Campos; São Paulo; Sorocaba.

Os artigos da Etapa (ii) foram selecionados durante o período de 2008 a 2016 e foram selecionadas as publicações que apresentavam o nome dos municípios estudados.

## 4.3 Inventário de Emissões

Um inventário de emissões atmosféricas quantifica as fontes de emissões de uma empresa, evento, processo, unidade, produto, país, atividade ou área. Nesta etapa, o inventário de emissões foi realizado analisando os poluentes atmosféricos primários (emitidos direto da fonte) produzidos nas indústrias da região de estudo. Para obter-se o inventário de emissões, foi realizado um modelo para os cálculos através do Microsoft Excel em que utilizando a seguinte expressão de cálculo:

Equação 1:

$$E_{pa} = A * EF$$

Onde:

$E_{pa}$  = Emissões antropogênicas de poluentes atmosféricos dos municípios do Estado de São Paulo;

A = Taxas de atividade, como consumo de energia elétrica, combustíveis ou produção de bens no período de estudo;

EF = Fator de emissão por unidade de energia elétrica, combustíveis consumidos ou produção produzida.

Para esta equação, a busca pelos dados secundários ocorreu da seguinte forma:

- A: Valores retirados dos Anuários Energéticos por Município do Estado de São Paulo de 2008 a 2016, publicados pela Secretaria de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo, sendo analisado o consumo de eletricidade do setor industrial por município.
- EF: Fatores médios de emissão anuais de CO<sub>2</sub> do Sistema Interligado Nacional do Brasil (tCO<sub>2</sub>/mWh), disponíveis nos inventários corporativos do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações do Brasil. Foi considerado que o fator de emissão provém da energia de hidrelétricas, visto que é a fonte de energia com maior representatividade no Estado de São Paulo e no Brasil (responsável por aproximadamente 72% da capacidade do SIN) (SÃO PAULO, 2017). Os valores do SIN para EF foram convertidos de mWh para kWh.

#### 4.4 Contribuições fracionárias de MP<sub>2,5</sub>

Em cada região será estimada as contribuições fracionárias de MP devido à produção e consumo de acordo com a Equação 2:

Equação 2:

$$F = \frac{C_{\text{prod/cons}}}{C_{\text{base}}}$$

Onde:

F = contribuições fracionárias de MP<sub>2,5</sub> devido à produção ou consumo em uma dada região;

C<sub>base</sub> = concentração de MP<sub>2,5</sub> modelada a partir do caso base (soma das concentrações de MP<sub>2,5</sub> µg/m<sup>3</sup> de todas as cidades estudadas);

C<sub>prod/cons</sub> = concentração modelada de MP<sub>2,5</sub> do cenário de produção e consumo.

As estações de monitoramento da CETESB estão localizadas na Região Metropolitana de São Paulo, no interior e no litoral do Estado, porém nem todas as estações fornecem medições de todos os poluentes. Devido à disponibilidade de

dados de medição do poluente  $MP_{2,5}$  nas cidades estudadas não estar em todas as estações, os dados foram obtidos para concentrações de  $MP_{10}$  e usando o fator de conversão de 0,5, que é um valor utilizado para países emergentes, conforme definido no projeto Apheis (OSTRO, 2004). Para esta equação, foi necessário também realizar uma interpolação de dados anuais em 2010 e 2011 para a cidade de Guarulhos, devido à falta de dados pelas redes de monitoramento da CETESB. Esta interpolação foi realizada obtendo a média dos demais anos para o município.

Foram realizados três cálculos com metodologias diferentes para chegar ao resultado mais fiel à realidade. As três serão nomeadas da seguinte forma: F1-Artigo, F2-Fração e F3-Módulo. A metodologia destas serão detalhadas a seguir.

#### 4.4.1 F1 - Artigo

A primeira metodologia utilizada para calcular a Equação 2, proposta acima, se baseou no artigo de Zhang et al (2017), em que:

$$F = \frac{C_{base} - C_{prod/cons}}{C_{base}}$$

A busca pelos dados para este cálculo se deu da seguinte forma:

- $C_{prod/cons}$ : Concentração de  $MP_{2,5}$   $\mu g/m^3$  do cenário de produção e consumo (concentração da cidade), sendo que os valores encontrados foram obtidos nos Relatórios de Qualidade do Ar da CETESB, sendo buscado os anos de estudo 2008 a 2016, tipo de média mensal, parâmetro  $MP_{10}$  e URGHI 2 – Paraíba do Sul, URGHI 5 – Piracicaba/Capivari/Jundiaí, URGHI 6 – Alto Tietê, URGHI 7 – Baixada Santista e URGHI 10 – Sorocaba/Médio Tietê.
- $C_{base}$ : Somatória das concentrações de  $MP_{2,5}$   $\mu g/m^3$  de todas as cidades estudadas, encontradas nos valores de  $C_{prod/cons}$ .

#### 4.4.2 F2 - Fração

A segunda metodologia utilizada para calcular a Equação 2 considerou a seguinte equação:

$$F = \frac{C_{\text{prod/cons}}}{C_{\text{base}}}$$

A busca pelos dados para este cálculo se deu nos mesmos passos mencionados no item F1-Artigo acima, tendo sido modificada apenas os fatores da equação, sendo retirado a subtração do  $C_{\text{base}}$  pelo  $C_{\text{prod/cons}}$ .

#### 4.4.3 F3 - Módulo

A terceira e última metodologia utilizada para calcular a Equação 2 seguiu a mesma fórmula do F1 – Artigo, sendo:

$$F = \frac{C_{\text{base}} - C_{\text{prod/cons}}}{C_{\text{base}}}$$

A mudança no cálculo do F3-Módulo se deu apenas na obtenção do dado  $C_{\text{base}}$  em que foi estipulado o valor de referência de concentração de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{MP}_{2,5}$ , seguindo valores de referência de Padrão de Qualidade do Ar fornecidos pela OMS. A obtenção dos dados de  $C_{\text{prod/base}}$  permaneceu conforme proposto no F1-Artigo.

#### 4.5 Efeitos na saúde

Os efeitos da poluição atmosférica na saúde serão determinados segundo a Equação 3, que segue o exposto por OSTRO (2004) para calcular o risco relativo para mortalidade por doenças cardiorrespiratórias:

Equação 3:

$$RR = [(X+1)/(X_0+1)]^\beta$$

Onde:

RR = Riscos relativos relacionados à exposição ao poluente  $\text{MP}_{2,5}$

X = Concentração anual de  $\text{MP}_{2,5}$  para cada município

$X_0$  = Valor de concentração para  $\text{MP}_{2,5}$  em que RR seria mínimo

$\beta$  = Coeficiente de dose-resposta de concentração

Os dados para esta equação foram obtidos da seguinte maneira:

- X: Os valores das concentrações anuais de  $MP_{10}$  foram obtidos através do Relatório de Qualidade do Ar da CETESB para os anos de estudo (2008 a 2016). Posteriormente, para obtenção dos dados em  $MP_{2,5}$ , multiplicou-se os dados obtidos por 0,5, sendo esta a razão utilizada para países em desenvolvimento, segundo OSTRO (2004).
- $X_0$  e  $\beta$ : os valores foram retirados do documento de OSTRO (2004), que recomenda os cálculos e valores a serem estabelecidos para cálculo de mortalidade por doenças cardiorrespiratórias em países em desenvolvimento. Para  $X_0$ , recomenda-se o uso do valor de concentração de 7,5. Para  $\beta$ , recomenda-se o uso do valor 0,1551.

Para determinar o número de óbitos relacionados ao poluente  $MP_{2,5}$ , posteriormente ao resultado da Equação 3 exposta acima, foi realizada a Equação 4 a seguir, retirada de OSTRO (2004) para obter os dados de mortes por doenças cardiorrespiratórias associadas à concentração do poluente.

Equação 4:

$$AF = (RR-1)/RR$$

Onde:

AF = Fração de óbitos por causas cardiorrespiratórias atribuídas à poluição atmosférica ( $MP_{2,5}$ )

RR = Riscos relativos relacionados à exposição ao poluente  $MP_{2,5}$

Para este cálculo, os dados para população municipal foram obtidos através do IBGE e os dados para concentração anual de poluente  $MP_{10}$  foram obtidos por meio do Relatório de Qualidade do Ar da CETESB dos anos de 2008 a 2016 para cada município. Para os dados de  $MP_{10}$  usou-se o fator de conversão de 0,5 para obter a concentração de  $MP_{2,5}$ , conforme relatado na Equação 3.

Os dados de mortalidade total por doenças cardiorrespiratórias foram obtidos através do DATASUS para doenças CID-10 do capítulo 9 e 10, sendo doenças do

aparelho circulatório e doenças do aparelho respiratório, respectivamente. Os detalhes da obtenção destes dados podem ser observados no Apêndice deste trabalho. Foram desconsiderados os dados de mortalidade para crianças, devido ao número baixo de casos em relação ao número total da população. Assim, considerou-se a faixa etária de 30 anos ou mais para esta análise. O coeficiente de dose-resposta de concentração, assumiu-se o valor de (0,1551) proposto por Ostro (2004).

Após obter os resultados da Equação 4, calculou-se a taxa de mortalidade por 100.000 habitantes da seguinte forma:

$\frac{\text{Número de óbitos}}{\text{Número de habitantes no município}} \times 100.000$
---

Onde:

- Número de óbitos: número total de óbitos por doenças cardiorrespiratórias associadas ao poluente MP<sub>2,5</sub> obtidas na Equação 4;
- Número de habitantes: habitantes do município, segundo último censo realizado pelo IBGE (2010).

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Filtragem da área de estudo

Os Anuários Energéticos por Município no Estado de São Paulo dos anos de 2008 a 2016, apresentam uma tabela inicial demonstrando quais foram as cidades que mais consumiram energia elétrica durante o período (dados em bases anuais). Estes valores refletem o consumo de energia elétrica total do município, somando o consumo pelo setor industrial, residencial, comercial, rural, iluminação pública, poder público, serviço público e consumo próprio. Esta tabela não pôde ser a base da filtragem da área de estudo, pois o foco deste trabalho visa somente a análise dos maiores consumidores de energia elétrica por parte do setor industrial, sendo este de grande relevância para aspectos da qualidade do ar nos municípios, devido à sua produção que emite material particulado e que está diretamente ligada à influência cada vez maior do consumo.

Desta forma, a primeira etapa da filtragem foi realizada através da análise dos anuários energéticos durante os nove anos previstos por este estudo (2008 a 2016). Realizou-se o levantamento dos municípios que constam como maiores consumidores de energia elétrica pelo setor industrial no Estado de São Paulo utilizando as tabelas gerais dispostas no documento. Para cada ano, os 15 municípios com maior consumo de energia elétrica no setor industrial. Ao realizar este levantamento no período de estudo, o total de municípios que aparecem na filtragem resultam em 18 cidades no total. Isso se deve ao fato de que em alguns anos as cidades consumidoras variam na quantidade de energia elétrica consumida pelo setor industrial, assim algumas vezes, o município entra no ranking dos 15 maiores consumidores, outras vezes não, conforme análise da Tabela 3. A variação das cidades que representam os maiores consumos durante os anos refere-se ao aumento ou redução de seus consumos energéticos a cada ano.

Tabela 3 – Municípios que mais consomem energia elétrica pelo setor industrial nos anuários de 2008 a 2016.

Consumo energético pelo setor industrial de São Paulo									
Municípios	Posição de consumo - Anuário 2009 ano base 2008 (kWh)	Posição de consumo - Anuário 2010 ano base 2009 (kWh)	Posição de consumo - Anuário 2011 ano base 2010 (kWh)	Posição de consumo - Anuário 2012 ano base 2011 (kWh)	Posição de consumo - Anuário 2013 ano base 2012 (kWh)	Posição de consumo - Anuário 2014 ano base 2013 (kWh)	Posição de consumo - Anuário 2015 ano base 2014 (kWh)	Posição de consumo - Anuário 2016 ano base 2015 (kWh)	Posição de consumo - Anuário 2017 ano base 2016 (kWh)
Alumínio	1º (5.965.408.636)	1º (5.876.146.911)	1º (5.468.470.713)	1º (5.431.611.724)	1º (5.948.840.845)	1º (5.210.865.450)	1º (3.659.458.688)	1º (3.646.675.296)	1º (3.948.590.794)
Americana	9º (1.077.169.417)	9º (992.541.584)	9º (1.048.088.495)	9º (1.052.427.640)	9º (978.675.387)	11º (951.299.974)	12º (886.911.697)	13º (800.539.847)	-
Cubatão	3º (3.440.703.076)	3º (3.300.987.152)	3º (3.486.877.789)	3º (3.502.028.329)	3º (3.536.913.196)	3º (3.538.411.013)	3º (3.378.912.428)	3º (3.121.327.474)	3º (2.241.868.181)
Guarulhos	6º (1.493.913.510)	6º (1.391.893.246)	6º (1.554.091.437)	6º (1.579.273.711)	6º (1.574.870.349)	6º (1.607.996.934)	6º (1.534.575.527)	5º (1.365.518.115)	5º (1.286.524.503)
Jacareí	15º (783.156.456)	15º (800.393.904)	13º (899.078.970)	-	-	12º (896.215.095)	15º (799.533.679)	-	15º (792.450.433)
Jundiaí	8º (1.078.747.491)	8º (1.166.925.834)	7º (1.320.657.853)	8º (1.375.636.914)	8º (1.352.133.570)	8º (1.314.899.930)	8º (1.183.620.455)	8º (1.069.051.401)	8º (1.011.380.107)
Limeira	13º (842.642.720)	13º (820.368.392)	15º (867.925.738)	14º (868.647.403)	12º (887.709.060)	13º (888.630.971)	13º (886.214.073)	12º (838.102.770)	10º (851.302.576)
Mauá	-	-	14º (898.392.891)	13º (897.699.977)	13º (868.665.088)	14º (856.676.868)	11º (913.913.558)	14º (791.608.667)	13º (827.760.382)
Mogi das Cruzes	14º (784.498.938)	-	-	-	-	-	-	-	-
Paulínia	-	-	-	15º (852.980.527)	14º (832.344.391)	-	-	15º (785.912.028)	14º (807.921.885)
Pindamonhangaba	10º (1.010.562.643)	11º (893.121.814)	10º (1.007.934.584)	10º (1.023.718.699)	11º (924.228.980)	10º (976.730.224)	10º (940.342.240)	9º (942.334.990)	11º (843.977.171)
Piracicaba	7º (1.308.225.059)	7º (1.188.930.519)	8º (1.296.987.310)	7º (1.392.910.853)	7º (1.433.405.912)	7º (1.490.215.205)	7º (1.464.813.037)	7º (1.268.462.688)	6º (1.231.466.148)
Santo André	4º (1.877.811.454)	4º (1.661.660.477)	4º (1.828.669.545)	4º (1.828.949.388)	4º (1.660.580.892)	4º (1.633.886.682)	4º (1.590.358.815)	4º (1.440.383.320)	4º (1.472.092.663)
São Bernardo do Campo	5º (1.712.230.509)	5º (1.516.167.780)	5º (1.712.942.081)	5º (1.732.789.428)	5º (1.591.090.766)	5º (1.615.259.999)	5º (1.575.853.244)	6º (1.292.297.615)	7º (1.186.315.258)
São José dos Campos	11º (958.643.976)	10º (893.678.062)	12º (921.932.660)	12º (965.786.437)	-	-	-	-	-
São Paulo	2º (4.284.655.218)	2º (3.871.954.007)	2º (4.011.037.982)	2º (3.963.258.512)	2º (3.888.363.442)	2º (3.759.177.643)	2º (3.644.803.198)	2º (3.227.920.078)	2º (2.893.253.067)
Sorocaba	12º (919.160.971)	12º (821.984.203)	11º (948.378.662)	11º (980.738.124)	10º (978.480.383)	9º (1.031.627.425)	9º (999.358.380)	10º (901.280.872)	12º (843.755.088)
Suzano	-	14º (809.769.827)	-	-	15º (816.677.963)	15º (843.738.252)	14º (838.007.212)	11º (859.441.841)	9º (866.280.377)

Filtragem inicial dos municípios do Estado de São Paulo que mais consomem energia elétrica (kWh) pelo setor industrial, durante os anos de 2008 a 2016, referente aos anuários de 2009 a 2017.

Os municípios que apresentam (-) em seus valores não estavam posicionados entre os 15 maiores consumidores de energia elétrica pelo setor industrial durante o ano analisado.

Fonte: elaborado pelo autor com base nos Anuários Energéticos do Estado de São Paulo.



Após obter os 18 municípios que representam o objetivo deste projeto, realizou-se uma segunda filtragem. A segunda etapa da filtragem dos municípios buscou, dentre as cidades analisadas acima, as que apresentam redes de monitoramento de emissões  $MP_{10}$ , segundo o relatório de qualidade do ar da CETESB, para que seja possível analisar o inventário de emissões (Cálculo 01 deste projeto).

Devido a uma limitação de dados e da rede de monitoramento de poluentes atmosféricos, alguns destes municípios não apresentam estações de monitoramento de  $MP_{10}$ , tornando-se inviável a análise destes. Na Tabela 4, identificou-se os municípios que foram selecionados na segunda etapa de filtragem e sua respectiva rede de monitoramento do poluente  $MP_{10}$  e  $MP_{2,5}$ , identificando as estações de monitoramento da CETESB.

Tabela 4 – Rede de monitoramento de Partículas Inaláveis e Partículas Inaláveis Finas da área de estudo

Rede de Monitoramento de Partículas Inaláveis e Partículas Inaláveis Finas				
Município	Estações de monitoramento	Nome das estações	Controle de $MP_{10}$	Controle de $MP_{2,5}$
Cubatão	3	Cubatão - Centro (RA)	Sim	não
		Cubatão - Vale do Mogi (RA)	Sim	não
		Cubatão - Vila Parisi (RA)	Sim	não
Guarulhos	2	Guarulhos - Paço Municipal (RA)	sim	não
		Guarulhos - Pimentas (RA) <sup>1</sup>	sim	sim
Jundiaí	2	Jundiaí - B. Pitangueiras (RA)	sim	não
		Jundiaí (RA)	sim	não
Mauá	1	Mauá	sim	não
Paulínia	2	Paulínia (RA)	sim	não
		Paulínia - Sul (RA)	sim	não
Piracicaba	2	Piracicaba - Algodão (RM)	sim	não
		Piracicaba (RA)	sim	sim
Santo André	2	Santo André - Capuava (RA)	sim	não
		Santo André - Paço Municipal (RA)	sim	não
São Bernardo do Campo	1	São Bernardo do Campo - Paulicéia (RA)	sim	sim
São José dos Campos	2	São José dos Campos (RA)	sim	não
		São José dos Campos - Jd Satélite (RA) <sup>1</sup>	sim	sim
São Paulo	15	Capão Redondo (RA)	sim	não
		Cerqueira César (RA)	sim	não
		Cerqueira César (RM)	não	sim
		Cid. Universitária USP - IPEN	não	sim
		Congonhas (RA)	sim	sim

		Grajaú-Parelheiros (RA)	sim	sim
		Ibirapuera (RA) <sup>2</sup>	sim	não
		Ibirapuera (RM) <sup>2</sup>	não	sim
		Interlagos (RA)	sim	não
		Itaim Paulista (RA) <sup>3</sup>	sim	sim
		Marginal Tietê - Ponte dos Remédios (RA)	sim	sim
		Moóca (RA)	sim	não
		Nossa Senhora do Ó (RA)	sim	não
		Parque D. Pedro II (RA)	sim	não
		Pinheiros (RA) <sup>4</sup>	sim	sim
		Santana (RA) <sup>5</sup>	sim	não
		Santo Amaro (RA)	sim	não
Sorocaba	1	Sorocaba (RA)	sim	não
<b>Total</b>		<b>33</b>	<b>30</b>	<b>12</b>

Fonte: elaborado pelo autor com base nos Relatórios de Qualidade do Ar da CETESB

RA – Redes de Monitoramento Automáticos

RM – Redes Manuais

<sup>1</sup> As estações Guarulhos-Pimentas (RA) e São José dos Campos – Jd. Satélite (RA) realizaram as medições a partir de 2015.

<sup>2</sup> A estação Ibirapuera (RA) e Ibirapuera (RM) não fazem medições desde 2014.

<sup>3</sup> A estação Itaim Paulista (RA) não realizou medições em 2014.

<sup>4</sup> A estação Pinheiros (RA) não realizou medições em 2016.

<sup>5</sup> A estação Santana (RA) não realizou medições em 2017.

Tabela 5 – Estações que realizaram medição de MP<sub>10</sub>

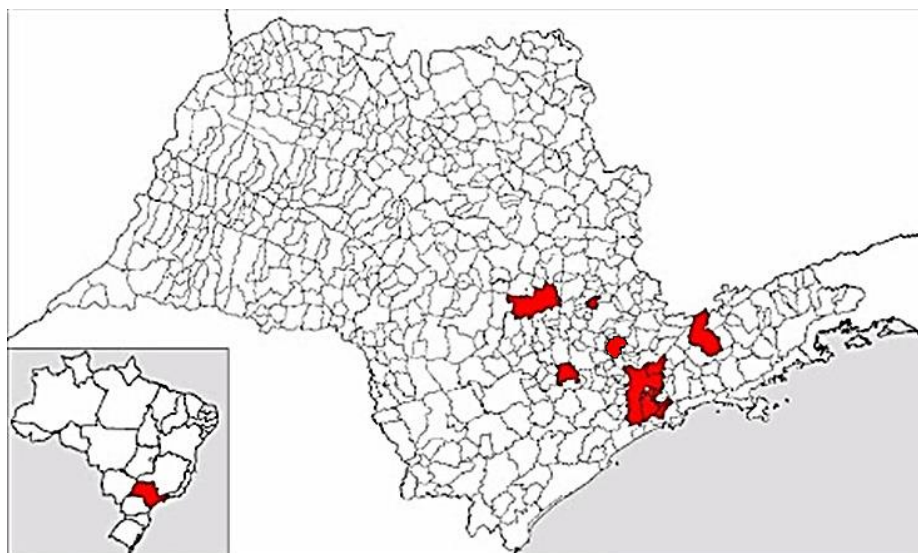
Quantidade de estações que realizaram medição de MP <sub>10</sub>										
Município	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Cubatão	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Guarulhos	1	1	1	0	0	1	1	1	2	2
Jundiaí	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mauá	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Paulínia	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Piracicaba	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Santo André	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2
São Bernardo do Campo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
São José dos Campos	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
São Paulo	13	13	12	12	9	12	12	15	13	12
Sorocaba	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fonte: elaborado pelo autor com base nos Relatórios de Qualidade do Ar da CETESB

O resultado desta seleção foi o total de onze cidades que estão dentro do padrão de análise deste estudo, contendo os dados necessários para a aplicação

da metodologia apresentada. Os onze municípios selecionados foram: Cubatão, Guarulhos, Jundiaí, Mauá, Paulínia, Piracicaba, Santo André, São Bernardo do Campo, São José dos Campos, São Paulo e Sorocaba (Figura 10).

Figura 10 – Localização da área de estudo



Fonte: Imagem elaborada a partir do software QGIS e base de dados IBGE.

Foi realizado um levantamento da participação municipal no PIB Estadual e a participação da indústria do total do valor adicionado no município (Tabela 6). Os resultados mostraram que para Cubatão e Paulínia, a indústria representa aproximadamente a metade do valor adicionado do município (2015). Somente estes onze municípios estudados representam metade do PIB Estadual (2015), considerando-se que o Estado de São Paulo é representado por 645 municípios.

Tabela 6 – Indicadores econômicos dos municípios do Estado de São Paulo

Municípios	Participação da Indústria no Total do Valor Adicionado no município (%) - 2015	PIB <i>per capita</i> (R\$) – 2015	Participação no PIB do Estado (%) – 2015	População - 2017	PIB (R\$) - 2015
Cubatão	57,38	126.407,86	0,808	128.748	15.680.010,05
Guarulhos	24,41	40.515,82	2,69	1.349.113	52.199.129,57
Jundiaí	25,51	101.569,11	2,04	409.497	39.717.585,60
Mauá	38,38	28.252,66	0,6	462.005	12.429.673,25
Paulínia	48,08	284.750,89	1,39	102.499	27.060.731,53
Piracicaba	34,54	57.233,59	1,11	397.322	21.644.883,95
Santo André	22,09	38.274,00	1,35	715.231	26.240.884,88
São Bernardo do Campo	27,75	54.008,53	2,2	827.437	42.745.533,28
São José dos Campos	43,14	54.119,06	1,87	703.219	36.398.100,25
São Paulo	11,86	56.169,59	33,53	12.106.920	650.544.788,73
Sorocaba	32,29	49.005,74	1,57	659.871	30.566.793,48
<b>Total</b>	-	-	<b>49,158</b>	<b>17.861.862</b>	<b>955.228.114,57</b>

Fonte: elaborado pelo autor com base nas publicações do IBGE

Dentre esta representatividade industrial nos municípios, realizou-se um levantamento com os principais setores industriais em cada cidade, de forma a averiguar o tipo de atividade desenvolvida por eles e relacionar posteriormente com a intensidade da poluição emitida (Tabela 7).

Tabela 7 - Principais setores industriais dos municípios estudados.

Município	Principal setor industrial	Quantidade de indústrias	Fonte
Cubatão	Indústrias dos setores de petroquímica, siderurgia e fertilizantes (CUBATÃO, 2017)	23	(CUBATÃO, 2017)
		71	(SÃO PAULO, 2017)
Guarulhos	Indústrias dos setores químico farmacêutico, metalúrgica, autopeças, construção civil, têxtil e alimentícia (GUARULHOS, 2018).	mais de 4.000	(GUARULHOS, 2018)
		2.509	(SÃO PAULO, 2017)
Jundiaí	Bebidas não-alcóolicas, fabricação de equipamentos de informática e periféricos, fabricação de geradores, transformadores e motores elétricos (JUNDIAÍ, 2018).	1.806	(JUNDIAÍ, 2018)
		698	(SÃO PAULO, 2017)

<b>Mauá</b>	Indústrias dos setores de logística, materiais elétricos, metalurgia, mecânica, química e petroquímica (MAUÁ, 2018)	715	(MAUÁ, 2018)
		530	(SÃO PAULO, 2017)
<b>Paulínia</b>	Indústrias dos setores da química e petroquímica, alimentícia e mecânica (PAULÍNIA, 2018)	346	(PAULÍNIA, 2018)
		252	(SÃO PAULO, 2017)
<b>Piracicaba</b>	Indústrias dos setores sucroalcooleiro, metalomecânica, alimentos, papel e têxtil (TAKAMI; MENDES, 2011)	98	(TAKAMI; MENDES, 2011)
		1.454	(SÃO PAULO, 2017)
<b>Santo André</b>	Indústrias dos setores têxtil, vestuário e calçados, petroquímica e metalúrgica (SANTO ANDRÉ, 2016)	4.213	(SANTO ANDRÉ, 2016)
		940	(SÃO PAULO, 2017)
<b>São Bernardo do Campo</b>	Química, automobilístico, autopeças, tintas e dentifrícios (SÃO BERNARDO DO CAMPO, 2012)	1.602	(SÃO BERNARDO DO CAMPO, 2012)
		1.196	(SÃO PAULO, 2017)
<b>São José dos Campos</b>	Indústrias dos setores aeroespacial, automotivo, petroquímico, farmacêutica e eletroeletrônicos (SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2016)	1.795	(SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2016)
		2.228	(SÃO PAULO, 2017)
<b>São Paulo</b>	Indústrias dos setores têxtil; alimentos e bebidas; papel, papelão, editorial e gráfica; metalúrgica; mecânica; borracha, fumo, couros, peles e similares; tecnologia, indústria farmacêutica e química (SÃO PAULO, 2014)	30.061	(SÃO PAULO, 2014)
		19.076	(SÃO PAULO, 2017)
<b>Sorocaba</b>	Indústrias de máquinas, siderurgia e metalurgia pesada, automobilística, autopeças, mecânicas, têxteis, equipamentos agrícolas, químicas, petroquímicas farmacêuticas, papel e celulose, produção de cimento, energia eólica, eletrônica, ferramentas, telecomunicações (SOROCABA, 2018)	Mais de 2.000	(SOROCABA, 2018)
		1.281	(SÃO PAULO, 2017)

Fonte: elaborado pelo autor.

A média aritmética anual de  $MP_{10}$  devido às fontes fixas e móveis em cada um dos onze municípios estudados estão apresentadas na Tabela 8. O quadro também apresenta a quantidade de vezes em que a qualidade do ar

destas cidades ultrapassou o limite da legislação do Estado de São Paulo pelo Decreto Estadual nº 59.113/13 e o limite federal estabelecido pelo CONAMA 03/90 no ano de 2016.

Tabela 8 – Qualidade do ar nos municípios de São Paulo em 2016.

Qualidade do Ar – Partículas Inaláveis MP <sub>10</sub> – 2016			
Município	Média aritmética anual (µg/m <sup>3</sup> )*	Número de ultrapassagens do PQAr federal**	Número de ultrapassagens do PQAr estadual***
Cubatão	49	39	75
Guarulhos	29,5	0	0
Jundiaí	26	0	0
Mauá	30	0	0
Paulínia	35	0	3
Piracicaba	33,5	0	0
Santo André	30	0	0
São Bernardo do Campo	25	0	0
São José dos Campos	23	0	0
São Paulo	28,25	0	3
Sorocaba	25	0	0

Fonte: elaborado pelo autor com base nos Relatórios de Qualidade do Ar da CETESB.

\*Foram realizadas as médias aritméticas de todas as estações de monitoramento de rede automática e manual dos municípios, considerando as médias dispostas no Relatório de Qualidade do Ar da CETESB de 2016.

\*\*Número de ultrapassagens do Padrão de Qualidade do Ar federal, conforme Relatório de Qualidade do Ar da CETESB de 2016, baseando-se nos limites estabelecidos no CONAMA 03/90

\*\*\* Número de ultrapassagens do Padrão de Qualidade do Ar do Estado de São Paulo, conforme Relatório de Qualidade do Ar da CETESB de 2016, baseando-se nos limites estabelecidos no Decreto Estadual nº 59.113/13.

## 5.2 Levantamento Bibliográfico

Foi realizado o levantamento das principais publicações que associam a poluição atmosférica com problemas de saúde pública nos municípios selecionados do Estado de São Paulo que consomem elevada quantidade de energia (Tabela 9). A metodologia para construção deste quadro pode ser vista no item 4.2 deste estudo. Estes estudos foram levantados de maneira a corroborar com os resultados e discussão deste trabalho.

Tabela 9 – Estudos de associação entre poluição atmosférica e impactos na saúde pública.

ESTUDOS DE ASSOCIAÇÃO ENTRE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E IMPACTOS NA SAÚDE NOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DE SÃO PAULO (2008-2017)				
AUTOR	CIDADE	ANO DE PUBLICAÇÃO	TÍTULO	PRINCIPAIS RESULTADOS
TAYRA et al	Cubatão	2012	Economic Cost of Air Pollution in Cubatão - SP Based on Health Expenses Related to Diseases of the Respiratory and Circulatory Systems	Cubatão apresentou maiores gastos per capita na saúde quanto à doenças no aparelho respiratório e circulatório quando comparado a cidades com menor atividade industrial.
NARDOCCI et al	Cubatão	2013	Poluição do ar e doenças respiratórias e cardiovasculares: estudo de séries temporais em Cubatão, São Paulo, Brasil	O aumento na concentração de MP <sub>10</sub> ocorre excesso de internações de 4,25% para doenças respiratórias totais, 5,74% para doenças respiratórias em menores de 5 anos e 2,29% para doenças cardiovasculares em maiores de 39 anos.
JASINSKI et al	Cubatão	2011	Poluição atmosférica e internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças e adolescentes em Cubatão, São Paulo, Brasil, entre 1997 e 2004	Associou-se um crescimento no número de internações de crianças e adolescentes por doenças respiratórias decorrentes de MP <sub>10</sub> e ozônio, crescendo 9,6% e 2,4% o número de internações, respectivamente.
GIOIA et al	Cubatão e São Paulo	2017	An isotopic study of atmospheric lead in a megacity after phasing out of leaded gasoline	A concentração de chumbo (Pb) atmosférico decorrentes do crescente número de carros, construção urbana e emissões industriais em áreas densamente povoadas é prejudicial à saúde humana, podendo exceder os Padrões de Qualidade do Ar em algumas estações do ano quando a dispersão de poluentes é menos favorável.
RIBEIRO et al	Cubatão	2016	Prevalence of hypertension and its associated factors in contaminated areas of the Santos-São Vicente Estuarine region and Bertioga, Brazil: 2006-2009.	Residir em áreas contaminadas por produtos químicos de origem industrial apresenta um fator de risco para hipertensão, sendo que morar no Centro de Cubatão apresenta OR: 1,3; IC95%: 1,0-1,6.

FREITAS et al	Cubatão, Guarulhos, Mauá, Paulínia, Santo André, São José dos Campos, São Paulo e Sorocaba	2013	Poluição do ar em cidades brasileiras: selecionando indicadores de impacto na saúde para fins de vigilância	Foi encontrada relação significativa entre poluição atmosférica e impactos na saúde em 81% das localidades para Doenças Respiratórias Totais; 89% para Doenças Respiratórias em menores de 5 anos; e 50% para Doenças Cardiovasculares em adultos maiores de 39 anos.
GOUVEIA et al	Guarulhos, Mauá, São Bernardo do Campo, São Paulo e Santo André	2017	Poluição do ar e hospitalizações na maior metrópole brasileira	As estimativas globais do efeito da exposição à poluição na região indicaram associações somente com as doenças respiratórias. Apenas São Paulo e de São Bernardo do Campo mostraram associação entre os níveis de $MP_{10}$ e as internações por doenças cardiovasculares.
GOMES et al	Guarulhos, Mauá, Santo André, São Bernardo do Campo e São Paulo	2013	Influência da Poluição por Material Particulado nas Internações de Crianças Asmáticas na Região da Grande São Paulo	Os resultados apontaram associações significativas e o risco das internações por asma aumentadas quase em duas vezes, para as crianças expostas às concentrações do material particulado em relação a crianças que não são expostas.
CESAR et al	Piracicaba	2013	Associação entre exposição ao material particulado e internações por doenças respiratórias em crianças	A exposição ao $MP_{2,5}$ esteve associada às internações por doenças respiratórias em crianças, sendo que o incremento de $10 \mu g/m^3$ do poluente implicou aumento no risco relativo entre 7,9 e 8,6 pontos percentuais.



ROMÃO et al.	Santo André	2013	The relationship between low birth weight and exposure to inhalable particulate matter	Mesmo com concentrações de partículas dentro dos padrões de qualidade do ar, observou-se uma relação dose-resposta entre as concentrações de $MP_{10}$ e baixo peso ao nascer. As concentrações de $MP_{10}$ no quartil mais alto ( $37,50\mu g/m^3$ ) no terceiro trimestre gestacional aumentaram o risco de baixo peso ao nascer em 26% quando comparadas com o primeiro quartil.
AMÂNCIO; NASCIMENTO	São José dos Campos	2012	Asthma and air pollutants: a time series study	Houve forte correlação entre hospitalizações e as partículas de poluentes e dióxido de enxofre. A exposição ao material particulado e dióxido de enxofre foram associados a riscos de 1,01 a 1,04 de hospitalização por asma no mesmo dia e dentro de três dias após a exposição. Aumentos nas concentrações desses poluentes aumentam o risco de hospitalização entre 8% e 19%.
NASCIMENTO et al.	São José dos Campos	2012	Poluentes ambientais e internações devido a acidente vasculoencefálico	A exposição ao material particulado foi associado com hospitalizações por acidente vascular cerebral, sendo que o aumento de $10\mu g / m^3$ do poluente aumenta em 12% o risco de hospitalização.
NASCIMENTO; FRANCISCO	São José dos Campos	2013	Particulate matter and hospital admission due to arterial hypertension in a medium-sized Brazilian city	Houve associação significativa entre a exposição ao material particulado e a internação por hipertensão, com os riscos variando entre 1.009 e 1.019. O aumento de $10\mu g/m^3$ desse poluente aumenta o risco de internação em até 13%.
AMÂNCIO; NASCIMENTO	São José dos Campos	2014	Poluição ambiental e óbitos devido a acidente vasculoencefálico em uma cidade com baixos níveis de poluentes: estudo ecológico de séries temporais	Houve 1.032 mortes por acidente vascular cerebral, que variou de 0 a 5 por dia. O aumento do risco foi de 10% e 7%, respectivamente para material particulado e dióxido de enxofre.
LIMA et al	São José dos Campos	2014	Association between maternal exposure to particulate matter and premature birth	Exposição ao material particulado esteve associada significativamente com partos prematuros, mas não houve associação entre a exposição materna acumulada antes do parto e o nascimento.

SANTOS et al.	São José dos Campos	2014	O papel dos poluentes atmosféricos sobre o peso ao nascer em cidade de médio porte Paulista	A exposição materna aos poluentes do ar não se associou ao nascimento de crianças com baixo peso, com exceção do SO <sub>2</sub> , no último mês de gestação. Além disso, a exposição materna ao MP <sub>10</sub> e SO <sub>2</sub> no último mês levou à diminuição do peso ao nascer (0,28g e 3,15g, respectivamente) para cada 1mcg/m <sup>3</sup> de aumento da concentração desses poluentes, porém sem significância estatística.
YANAGI et al.	São Paulo	2012	Influência do material particulado atmosférico na incidência e mortalidade por câncer no município de São Paulo, Brasil	Segundo o estudo, MP <sub>10</sub> urbano pode contribuir para o aumento da incidência de alguns tipos de câncer e também pode contribuir para o aumento mortalidade por câncer. Os resultados destacam a necessidade adotar medidas para reduzir o MP <sub>10</sub> atmosférico níveis e a importância do seu contínuo monitoramento.
PINHEIRO et al	São Paulo	2014	Efeitos isolados e sinérgicos do MP <sub>10</sub> e da temperatura média na mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias	Estimou-se mudança percentual no risco relativo para mortalidade cardiovascular e respiratória de 0,85%, devido ao aumento de 10 µg/m <sup>3</sup> na concentração do MP <sub>10</sub> . Além disso, indicaram maior risco relativo em baixas temperaturas para mortalidade cardiovascular e em altas temperaturas para mortalidade respiratória em níveis de poluição em torno de 60 µg/m <sup>3</sup> .
Barbosa et al.	São Paulo	2015	Air pollution and children's health: sickle cell disease	Variações das médias móveis de quatro dias de MP <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , CO e O <sub>3</sub> foram associadas com aumentos de 18,9%, 19%, 14,4%, 16,5% e 9,8% nos atendimentos de emergência pediátricas totais, respectivamente. A poluição do ar pode afetar a saúde cardiovascular de crianças e promover um fardo significativo para a saúde em um grupo suscetível, como o de pacientes com anemia falciforme.

ABE; MIRAGLIA	São Paulo	2016	Health Impact Assessment of Air Pollution in São Paulo, Brazil	São Paulo evitaria mais de 5 mil mortes prematuras caso diminuísse as concentrações de $MP_{2,5}$ para o padrão da OMS ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), economizando US \$ 15,1 bilhões anuais. Se diminuísse a média de $MP_{2,5}$ em $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , quase 1724 mortes seriam evitadas, resultando em um ganho de US \$ 4,96 bilhões anuais.
GAVINIER; NASCIMENTO	Sorocaba	2014	Air pollutants and hospital admissions due to stroke	Houve correlação entre o risco de internação por acidente vascular encefálico e a exposição ao dióxido de nitrogênio, podendo aumentar em até 4 pontos se houver o incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nas concentrações desse poluente.

Fonte: elaborado pelo autor com base nas publicações mencionadas.

### 5.3 Equação 01

Para a Equação 01 foi utilizado o método proposto pelo item 4.3 deste trabalho. O município com maior consumo de energia elétrica pelo setor industrial durante todo o período de estudo foi a cidade de São Paulo (média de 3.781.535.733 kWh), seguido do município de Cubatão (média de 3.301.090.585 kWh). A indústria de São Paulo também foi a que mais emitiu CO<sub>2</sub> na atmosfera (média de 249.541,04 tCO<sub>2</sub> por ano). O maior número de unidades consumidoras (N.C.) estão localizadas no município de São Paulo (média de 19.449,8) seguido da cidade de Guarulhos (média de 2.564). O município que mais consome energia elétrica por unidade consumidora e mais emite poluentes atmosféricos por unidade consumidora são os municípios de Cubatão (38.631.560,08 kWh/N.C. e 2.762,02 tCO<sub>2</sub>/N.C.), seguido de Paulínia (2.635.870,75 kWh/N.C. e 192,12 tCO<sub>2</sub>/N.C.). Os resultados de E<sub>pa</sub> (emissões antropogênicas de poluentes atmosféricos (MP<sub>10</sub>) dos municípios do Estado de São Paulo) podem ser vistos na Tabela 10.

Tabela 10 – Emissões antropogênicas de poluentes atmosféricos dos municípios do Estado de São Paulo

Cubatão										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
A (kWh)	3.462.877.214	3.440.703.076	3.300.987.152	3.486.877.789	3.502.028.329	3.536.913.196	3.538.411.013	3.378.912.428	3.121.327.474	3.418.781.963
EF (tCO <sub>2</sub> /kWh)	0,0000293	0,0000484	0,0000246	0,0000512	0,0000292	0,0000653	0,000096	0,0001355	0,0001244	0,0000671
Epa	101.462,30	166.530,03	81.204,28	178.528,14	102.259,23	230.960,43	339.687,46	457.842,63	388.293,14	227.418,63
N.C.	93	111	105	103	80	81	76	76	73	89
kWh/N.C.	37.235.238,86	30.997.325,01	31.437.972,88	33.853.182,42	43.775.354,11	43.665.595,01	46.558.039,64	44.459.374,05	42.757.910,6	39.415.554,73
tCO <sub>2</sub> /N.C.	1.090,99	1.500,27	773,37	1.733,28	1.278,24	2.851,36	4.469,57	6.024,25	5.319,08	2.782,27

Guarulhos										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
A (kWh)	1.422.287.685	1.493.913.510	1.391.893.246	1.554.091.437	1.579.273.711	1.574.870.349	1.607.996.934	1.534.575.527	1.365.518.115	1.502.713.390
EF (tCO <sub>2</sub> /kWh)	0,0000293	0,0000484	0,0000246	0,0000512	0,0000292	0,0000653	0,000096	0,0001355	0,0001244	0,0000671
Epa	41.673,03	72.305,41	34.240,57	79.569,48	46.114,79	102.839,03	154.367,71	207.934,98	169.870,45	100.990,61
N.C.	2.491	2.479	2.599	2.585	2.654	2.626	2.532	2.670	2497	2.570
kWh/N.C.	570.970,57	602.627,47	535.549,54	601.195,91	595.054,15	599.722,14	635.069,88	574.747,39	546.863,48	584.644,50
tCO <sub>2</sub> /N.C.	16,73	29,17	13,17	30,78	17,38	39,16	60,97	77,88	68,03	39,25

Jundiaí										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
A (kWh)	1.040.821.543	1.078.747.491	1.166.925.834	1.320.657.853	1.375.636.914	1.352.133.570	1.314.899.930	1.183.620.455	1.069.051.401	1.211.388.332
EF (tCO <sub>2</sub> /kWh)	0,0000293	0,0000484	0,0000246	0,0000512	0,0000292	0,0000653	0,000096	0,0001355	0,0001244	0,0000671
Epa	30.496,07	52.211,38	28.706,38	67.617,68	40.168,60	88.294,32	126.230,39	160.380,57	132.989,99	80.788
N.C.	925	944	918	913	716	726	743	742	715	815,78
kWh/N.C.	1.125.212,48	1.142.740,99	1.271.161,04	1.446.503,67	1.921.280,61	1.862.442,93	1.769.717,27	1.595.175,82	1.495.176,78	1.514.379,06
tCO <sub>2</sub> /N.C.	32,97	55,31	31,27	74,06	56,10	121,62	169,89	216,15	186,00	104,82

Mauá										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
A (kWh)	653.029.169	663.262.862	758.993.952	898.392.891	897.699.977	868.665.088	856.676.868	913.913.558	791.608.667	811.360.337
EF (tCO <sub>2</sub> /kWh)	0,0000293	0,0000484	0,0000246	0,0000512	0,0000292	0,0000653	0,000096	0,0001355	0,0001244	0,0000671
Epa	19.133,75	32.101,92	18.671,25	45.997,72	26.212,84	56.723,83	82.240,98	12.3835,29	98.476,12	55.933
N.C.	571	585	567	562	543	543	560	607	556	566
kWh/N.C.	1.143.658,79	1.133.782,67	1.338.613,67	1.598.563,86	1.653.222,79	1.599.751,54	1.529.780,12	1.505.623,65	1.423.756,60	1.436.305,97
tCO <sub>2</sub> /N.C.	33,51	54,88	32,93	81,85	48,27	104,46	146,86	204,01	177,12	98,21

Paulínia										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
A (kWh)	677.836.841	679.031.869	721.604.068	759.594.808	852.980.527	832.344.391	750.480.779	756.975.593	785.912.028	757.417.878
EF (tCO <sub>2</sub> /kWh)	0,0000293	0,0000484	0,0000246	0,0000512	0,0000292	0,0000653	0,000096	0,0001355	0,0001244	0,0000671
Epa	19.860,62	32.865,14	17.751,46	38.891,25	24.907,03	54.352,09	72.046,15	102.570,19	97.767,46	51.223
N.C.	364	390	379	383	250	246	255	262	259	309,77
kWh/N.C.	1.862.189,12	1.741.107,36	1.903.968,52	1.983.276,26	3.411.922,11	3.383.513,78	2.943.061,88	2.889.219,82	3.034.409,37	2.572.518,69
tCO <sub>2</sub> /N.C.	54,56	84,27	46,84	101,54	99,63	220,94	282,53	391,49	377,48	184,37

Piracicaba										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
A (kWh)	1.257.604.663	1.308.225.059	1.308.225.059	1.296.987.310	1.392.910.853	1.433.405.912	1.490.215.205	1.464.813.037	1.268.462.688	1.357.872.198
EF (tCO <sub>2</sub> /kWh)	0,0000293	0,0000484	0,0000246	0,0000512	0,0000292	0,0000653	0,000096	0,0001355	0,0001244	0,0000671
Epa	36.847,82	63.318,09	32.182,34	66.405,75	40.673,00	93.601,41	143.060,66	198.482,17	157.796,76	92.485,33
N.C.	1.864	1.910	1.901	1.876	1.461	1.484	1.504	1.526	1482	1.668
kWh/N.C.	674.680,61	684.934,59	688.177,31	691.357,84	953.395,52	965.906,95	990.834,58	959.903,69	855.912,74	829.455,98
tCO <sub>2</sub> /N.C.	19,77	33,15	16,93	35,40	27,84	63,07	95,12	130,07	106,48	58,65

Santo André										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
A (kWh)	1.988.155.966	1.877.811.454	1.661.660.477	1.828.669.545	1.828.949.388	1.660.580.892	1.633.886.682	1.590.358.815	1.440.383.320	1.723.384.060
EF (tCO <sub>2</sub> /kWh)	0,0000293	0,0000484	0,0000246	0,0000512	0,0000292	0,0000653	0,000096	0,0001355	0,0001244	0,0000671
Epa	58.252,97	90.886,07	40.876,85	93.627,88	53.405,32	108.435,93	156.853,12	215.493,62	179.183,69	110.779,49
N.C.	1.101	1.097	1.114	1.073	1.019	1.003	992	990	993	1.042
kWh/N.C.	1.805.772,90	1.711.769,78	1.491.616,23	1.704.258,66	1.794.847,29	1.655.614,05	1.647.063,19	1.606.423,05	1450.537,08	1.651.989,14
tCO <sub>2</sub> /N.C.	52,91	82,85	36,69	87,26	52,41	108,11	158,12	217,67	180,45	108,50

São Bernardo do Campo										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
A (kWh)	1.689.416.776	1.712.230.509	1.516.167.780	1.712.942.081	1.732.789.428	1.591.090.766	1.615.259.999	1.575.853.244	1.292.297.615	1.604.227.578
EF (tCO <sub>2</sub> /kWh)	0,0000293	0,0000484	0,0000246	0,0000512	0,0000292	0,0000653	0,000096	0,0001355	0,0001244	0,0000671
Epa	49.499,91	82.871,96	37.297,73	87.702,63	50.597,45	103.898,23	155.064,96	213.528,11	160.761,82	104.580,31
N.C.	1.341	1.371	1.311	1.283	1.263	1.283	1.253	1.246	1.244	1.288
kWh/N.C.	1.259.818,62	1.248.891,69	1.156.497,16	1.335.106,84	1.371.963,13	1.240.133,10	1.289.114,13	1.264.729,73	1.038.824,45	1.245.008,76
tCO <sub>2</sub> /N.C.	36,91	60,45	28,45	68,36	40,06	80,98	123,75	171,37	129,23	82,17



São José dos Campos										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
A (kWh)	1.018.344.239	958.643.876	893.678.062	921.932.660	965.786.437	804.055.240	753.057.406	693.295.113	614.209.057	847.000.232
EF (tCO <sub>2</sub> /kWh)	0,0000293	0,0000484	0,0000246	0,0000512	0,0000292	0,0000653	0,000096	0,0001355	0,0001244	0,0000671
Epa	29.837,49	46.398,36	21.984,48	47.202,95	28.200,96	52.504,81	72.293,51	93.941,49	76.407,61	52.085,74
N.C.	1.720	1.980	1.944	2.116	2.226	2.263	2.277	2.269	2.205	2.111
kWh/N.C.	592.060,60	484.163,57	459.710,94	435.695,96	433.866,32	355.305,01	330.723,50	305.550,95	278.552,86	408.403,30
tCO <sub>2</sub> /N.C.	17,35	23,43	11,31	22,31	12,67	23,20	31,75	41,40	34,65	24,23

São Paulo										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
A (kWh)	4.272.924.186	4.282.665.218	3.871.954.007	4.011.037.982	3.963.258.512	3.888.363.442	3.759.177.643	3.644.803.198	3.227.920.078	3.880.233.807
EF (tCO <sub>2</sub> /kWh)	0,0000293	0,0000484	0,0000246	0,0000512	0,0000292	0,0000653	0,000096	0,0001355	0,0001244	0,0000671
Epa	125.196,68	207.281,00	95.250,07	205.365,14	115.727,15	253.910,13	360.881,05	493.870,83	401.553,26	251.003,92
N.C.	21.406	21.004	20.108	19.352	19.276	18.649	19.160	18.196	18.271	19.491,33
kWh/N.C.	199.613,39	203.897,60	192.557,89	207.267,36	205.605,86	208.502,52	196.199,25	200.307,94	176.669,04	198.957,87
tCO <sub>2</sub> /N.C.	5,85	9,87	4,74	10,61	6,00	13,62	18,84	27,14	21,98	13,18

Sorocaba										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
<b>A (kWh)</b>	867.570.655	919.160.971	821.984.203	948.379.662	980.738.124	978.480.383	1.031.627.425	999.358.380	901.280.872	938.731.186
<b>EF (tCO<sub>2</sub>/kWh)</b>	0,0000293	0,0000484	0,0000246	0,0000512	0,0000292	0,0000653	0,000096	0,0001355	0,0001244	0,0000671
<b>E<sub>pa</sub></b>	25.419,82	44.487,39	20.220,81	48.557,04	28.637,55	63.894,77	99.036,23	135.413,06	112.119,34	64.198,45
<b>N.C.</b>	1.864	1.851	1.799	1.765	1.217	1.255	1.233	1.221	1.234	1.493
<b>kWh/N.C.</b>	465.434,90	496.575,35	456.911,73	537.325,59	805.865,34	779.665,64	836.680,80	818.475,33	730.373,48	658.589,80
<b>tCO<sub>2</sub>/N.C.</b>	13,64	24,03	11,24	27,51	23,53	50,91	80,32	110,90	90,86	48,11

Fonte: elaborado pelo autor com base nos Anuários Energéticos do Estado de São Paulo.

N.C. – Unidades Consumidoras

A – Consumo de eletricidade do setor industrial do município

EF – Fator de emissão por unidade de energia elétrica

E<sub>pa</sub> – Emissões antropogênicas de poluentes atmosféricos no município

## 5.4 Equação 02

A equação 02 seguiu três métodos diferentes, conforme proposto no item 4.4 deste trabalho. Serão apresentados os resultados para os métodos F1-Artigo, F2-Fração e F3-Módulo nas Tabelas 11 a 13. Em F1-Artigo, a maior contribuição fracionada de  $MP_{2,5}$  provém da cidade de São José dos Campos (média 0,96) seguido de Jundiaí (média 0,95). Em F2-Fração, a maior contribuição provém da cidade de Cubatão (média 0,11) seguido de Piracicaba (média 0,07) e Paulínia (média 0,07). Para F3-Módulo, a cidade com maior contribuição é Cubatão (média 2,00) seguido de Piracicaba (média 0,91). A Tabela 10 compara os resultados obtidos pelas três diferentes metodologias propostas.

Para F1-Artigo, os resultados foram valores elevados, com somatória das frações acima de 1 (mais que 100%). Ao aplicar os resultados deste cálculo na Equação 3, representaria que todas as mortes por doenças cardiorrespiratórias estariam associadas ao  $MP_{2,5}$ , apresentando falhas na relação entre os dados.

Para F3- Módulo, os resultados também foram desconsiderados, visto que o valor das frações apresentou valores negativos e, ao aplicar o resultado de F na Equação 3 deste estudo, o resultado de D revelaria que deveriam ocorrer mais mortes por doenças cardiorrespiratórias do que o dado do DATASUS.

Considerou-se então que a metodologia que melhor se adequa aos objetivos deste trabalho é a F2-Fração, pois a somatória da contribuição fracionária dos municípios foi próxima ao valor total de 1 e a aplicação de seu resultado no entendimento da Equação 3 representou valores abaixo do total de mortes por doenças cardiorrespiratórias.

Tabela 11 – Contribuições fracionárias para F1-Artigo

Cubatão										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Cbase	303,53	257,31	293,82	294,19	275,80	269,97	293,82	247,48	231,76	274,19
Cprod/cons	30,8	24,15	29,8	33	31	31,65	34,3	30,5	24,5	29,97
Cbase - Cprod/cons	272,73	233,16	264,02	261,19	244,80	238,32	259,52	216,98	207,26	244,22
F1-Artigo	0,90	0,91	0,90	0,89	0,89	0,88	0,88	0,88	0,89	0,89

Guarulhos										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Cbase	303,53	257,31	293,82	294,19	275,80	269,97	293,82	247,48	231,76	274,19
Cprod/cons	25	21	18	18	16,5	14,5	15,5	15	14,75	17,58
Cbase - Cprod/cons	278,53	236,31	275,82	276,19	259,30	255,47	278,32	232,48	217,01	256,60
F1-Artigo	0,92	0,92	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94

[illegible]

Mauá										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
<b>Cbase</b>	303,53	257,31	293,82	294,19	275,80	269,97	293,82	247,48	231,76	274,19
<b>Cprod/cons</b>	19,00	16,00	21,50	18,50	17,50	17,50	18,50	15,00	15,00	17,61
<b>Cbase - Cprod/cons</b>	284,53	241,31	272,32	275,69	258,30	252,47	275,32	232,48	216,76	256,57
<b>F1-Artigo</b>	0,94	0,94	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94

Paulínia										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
<b>Cbase</b>	303,53	257,31	293,82	294,19	275,80	269,97	293,82	247,48	231,76	274,19
<b>Cprod/cons</b>	21,25	15,75	20,25	20,50	17,75	17,50	19,75	16,25	17,50	18,50
<b>Cbase - Cprod/cons</b>	282,28	241,56	273,57	273,69	258,05	252,47	274,07	231,23	214,26	255,69
<b>F1-Artigo</b>	0,93	0,94	0,93	0,93	0,94	0,94	0,93	0,93	0,92	0,93

Piracicaba										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
<b>Cbase</b>	303,53	257,31	293,82	294,19	275,80	269,97	293,82	247,48	231,76	274,19
<b>Cprod/cons</b>	20,00	16,50	20,50	23,00	20,75	16,00	21,25	17,25	16,75	19,11
<b>Cbase - Cprod/cons</b>	283,53	240,81	273,32	271,19	255,05	253,97	272,57	230,23	215,01	255,07
<b>F1-Artigo</b>	0,93	0,94	0,93	0,92	0,92	0,94	0,93	0,93	0,93	0,93

Santo André										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
<b>Cbase</b>	303,53	257,31	293,82	294,19	275,80	269,97	293,82	247,48	231,76	274,19
<b>Cprod/cons</b>	15,00	17,00	19,25	17,50	17,75	16,50	18,00	15,50	15,00	16,83
<b>Cbase - Cprod/cons</b>	288,53	240,31	274,57	276,69	258,05	253,47	275,82	231,98	216,76	257,35
<b>F1-Artigo</b>	0,95	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94

São Bernardo do Campo										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
<b>Cbase</b>	303,53	257,31	293,82	294,19	275,80	269,97	293,82	247,48	231,76	274,19
<b>Cprod/cons</b>	22,00	19,00	20,50	20,00	17,50	18,50	18,00	13,00	12,50	17,89
<b>Cbase - Cprod/cons</b>	281,53	238,31	273,32	274,19	258,30	251,47	275,82	234,48	219,26	256,30
<b>F1-Artigo</b>	0,93	0,93	0,93	0,93	0,94	0,93	0,94	0,95	0,95	0,94

São José dos Campos										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
<b>Cbase</b>	303,53	257,31	293,82	294,19	275,80	269,97	293,82	247,48	231,76	274,19
<b>Cprod/cons</b>	11,50	10,50	12,00	13,00	11,50	11,00	15,00	11,00	11,50	11,89
<b>Cbase - Cprod/cons</b>	292,03	246,81	281,82	281,19	264,30	258,97	278,82	236,48	220,26	262,30
<b>F1-Artigo</b>	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,96	0,95	0,96

São Paulo										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
<b>Cbase</b>	303,53	257,31	293,82	294,19	275,80	269,97	293,82	247,48	231,76	274,19
<b>Cprod/cons</b>	19,30	16,70	17,30	18,20	17,80	16,05	17,15	14,70	14,10	16,81
<b>Cbase - Cprod/cons</b>	284,23	240,61	276,52	275,99	258,00	253,92	276,67	232,78	217,66	257,37
<b>F1-Artigo</b>	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94

Sorocaba										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
<b>Cbase</b>	303,53	257,31	293,82	294,19	275,80	269,97	293,82	247,48	231,76	274,19
<b>Cprod/cons</b>	18,00	14,00	16,00	17,00	16,00	18,00	19,50	14,00	12,50	16,11
<b>Cbase - Cprod/cons</b>	285,53	243,31	277,82	277,19	259,80	251,97	274,32	233,48	219,26	258,07
<b>F1-Artigo</b>	0,94	0,95	0,95	0,94	0,94	0,93	0,93	0,94	0,95	0,94

Fonte: elaborado pelo autor.

C<sub>prod/cons</sub>: Concentração de MP<sub>2,5</sub> µg/m<sup>3</sup> do cenário de produção e consumo (concentração da cidade)

C<sub>base</sub>: Somatória das concentrações de MP<sub>2,5</sub> µg/m<sup>3</sup> de todas as cidades estudadas, a partir do cenário base





Mauá										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
<b>Cbase</b>	303,53	257,31	293,82	294,19	275,80	269,97	293,82	247,48	231,76	274,19
<b>Cprod/cons</b>	19,00	16,00	21,50	18,50	17,50	17,50	18,50	15,00	15,00	17,61
<b>F2-Fração</b>	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06

Paulínia										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
<b>Cbase</b>	303,53	257,31	293,82	294,19	275,80	269,97	293,82	247,48	231,76	274,19
<b>Cprod/cons</b>	21,25	15,75	20,25	20,50	17,75	17,50	19,75	16,25	17,50	18,50
<b>F2-Fração</b>	0,07	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,07

Piracicaba										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
<b>Cbase</b>	303,53	257,31	293,82	294,19	275,80	269,97	293,82	247,48	231,76	274,19
<b>Cprod/cons</b>	20,00	16,50	20,50	23,00	20,75	16,00	21,25	17,25	16,75	19,11
<b>F2-Fração</b>	0,07	0,06	0,07	0,08	0,08	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07

Santo André										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Cbase	303,53	257,31	293,82	294,19	275,80	269,97	293,82	247,48	231,76	274,19
Cprod/cons	15,00	17,00	19,25	17,50	17,75	16,50	18,00	15,50	15,00	16,83
F2-Fração	0,05	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06

São Bernardo do Campo										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Cbase	303,53	257,31	293,82	294,19	275,80	269,97	293,82	247,48	231,76	274,19
Cprod/cons	22,00	19,00	20,50	20,00	17,50	18,50	18,00	13,00	12,50	17,89
F2-Fração	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,06	0,05	0,05	0,06

São José dos Campos										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Cbase	303,53	257,31	293,82	294,19	275,80	269,97	293,82	247,48	231,76	274,19
Cprod/cons	11,50	10,50	12,00	13,00	11,50	11,00	15,00	11,00	11,50	11,89
F2-Fração	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04

[illegible]

Sorocaba										
Dados da equação	Anos									Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
<b>Cbase</b>	303,53	257,31	293,82	294,19	275,80	269,97	293,82	247,48	231,76	274,19
<b>Cprod/cons</b>	18,00	14,00	16,00	17,00	16,00	18,00	19,50	14,00	12,50	16,11
<b>F2-Fração</b>	0,06	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,05	0,06

Fonte: elaborado pelo autor.

C<sub>prod/cons</sub>: Concentração de MP<sub>2,5</sub> µg/m<sup>3</sup> do cenário de produção e consumo (concentração da cidade)

C<sub>base</sub>: Somatória das concentrações de MP<sub>2,5</sub> µg/m<sup>3</sup> de todas as cidades estudadas, a partir do cenário base

Tabela 13 – Contribuições fracionárias para F3-Módulo

Cubatão										
Dados da equação										Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
<b>Cbase</b>	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>Cprod/cons</b>	30,8	24,15	29,8	33	31	31,65	34,3	30,5	24,5	29,97
<b>Cbase - Cprod/cons</b>	-20,80	-14,15	-19,80	-23,00	-21,00	-21,65	-24,30	-20,50	-14,50	-19,97
<b>F3-Módulo</b>	2,08	1,42	1,98	2,30	2,10	2,17	2,43	2,05	1,45	2,00

Guarulhos										
Dados da equação										Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
<b>Cbase</b>	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>Cprod/cons</b>	25	21	18	18	16,5	14,5	15,5	15	14,75	17,58
<b>Cbase - Cprod/cons</b>	-15,00	-11,00	-8,00	-8,00	-6,50	-4,50	-5,50	-5,00	-4,75	-7,58
<b>F3-Módulo</b>	1,50	1,10	0,80	0,80	0,65	0,45	0,55	0,50	0,48	0,76

Jundiaí										
Dados da equação										Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
<b>Cbase</b>	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>Cprod/cons</b>	12	12	15,5	15,5	14,5	13	15	13	12,5	18,27
<b>Cbase - Cprod/cons</b>	-2,00	-2,00	-5,50	-5,50	-4,50	-3,00	-5,00	-3,00	-2,50	-3,67
<b>F3-Módulo</b>	0,20	0,20	0,55	0,55	0,45	0,30	0,50	0,30	0,25	0,37

Mauá										
Dados da equação										Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Cbase	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Cprod/cons	19,00	16,00	21,50	18,50	17,50	17,50	18,50	15,00	15,00	17,61
Cbase - Cprod/cons	-9,00	-6,00	-11,50	-8,50	-7,50	-7,50	-8,50	-5,00	-5,00	-7,61
F3-Módulo	0,90	0,60	1,15	0,85	0,75	0,75	0,85	0,50	0,50	0,76

Paulínia										
Dados da equação										Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Cbase	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Cprod/cons	21,25	15,75	20,25	20,50	17,75	17,50	19,75	16,25	17,50	18,50
Cbase - Cprod/cons	-11,25	-5,75	-10,25	-10,50	-7,75	-7,50	-9,75	-6,25	-7,50	-8,50
F3-Módulo	1,13	0,58	1,03	1,05	0,78	0,75	0,98	0,63	0,75	0,85

Piracicaba										
Dados da equação										Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Cbase	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Cprod/cons	20,00	16,50	20,50	23,00	20,75	16,00	21,25	17,25	16,75	19,11
Cbase - Cprod/cons	-10,00	-6,50	-10,50	-13,00	-10,75	-6,00	-11,25	-7,25	-6,75	-9,11
F3-Módulo	1,00	0,65	1,05	1,30	1,08	0,60	1,13	0,73	0,68	0,91

Santo André										
Dados da equação										Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Cbase	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Cprod/cons	15,00	17,00	19,25	17,50	17,75	16,50	18,00	15,50	15,00	16,83
Cbase - Cprod/cons	-5,00	-7,00	-9,25	-7,50	-7,75	-6,50	-8,00	-5,50	-5,00	-6,83
F3-Módulo	0,50	0,70	0,93	0,75	0,78	0,65	0,80	0,55	0,50	0,68

São Bernardo do Campo										
Dados da equação										Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Cbase	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Cprod/cons	22,00	19,00	20,50	20,00	17,50	18,50	18,00	13,00	12,50	17,89
Cbase - Cprod/cons	-12,00	-9,00	-10,50	-10,00	-7,50	-8,50	-8,00	-3,00	-2,50	-7,89
F3-Módulo	1,20	0,90	1,05	1,00	0,75	0,85	0,80	0,30	0,25	0,79

São José dos Campos										
Dados da equação										Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Cbase	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Cprod/cons	11,50	10,50	12,00	13,00	11,50	11,00	15,00	11,00	11,50	11,89
Cbase - Cprod/cons	-1,50	-0,50	-2,00	-3,00	-1,50	-1,00	-5,00	-1,00	-1,50	-1,89
F3-Módulo	0,15	0,05	0,20	0,30	0,15	0,10	0,50	0,10	0,15	0,19

São Paulo										
Dados da equação										Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
<b>Cbase</b>	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>Cprod/cons</b>	19,30	16,70	17,30	18,20	17,80	16,05	17,15	14,70	14,10	16,81
<b>Cbase - Cprod/cons</b>	-9,30	-6,70	-7,30	-8,20	-7,80	-6,05	-7,15	-4,70	-4,10	-6,81
<b>F3-Módulo</b>	0,93	0,67	0,73	0,82	0,78	0,61	0,72	0,47	0,41	0,68

Sorocaba										
Dados da equação										Média
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
<b>Cbase</b>	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>Cprod/cons</b>	18,00	14,00	16,00	17,00	16,00	18,00	19,50	14,00	12,50	16,11
<b>Cbase - Cprod/cons</b>	-8,00	-4,00	-6,00	-7,00	-6,00	-8,00	-9,50	-4,00	-2,50	-6,11
<b>F3-Módulo</b>	0,80	0,40	0,60	0,70	0,60	0,80	0,95	0,40	0,25	0,61

Fonte: elaborado pelo autor.

$C_{\text{prod/cons}}$ : Concentração de  $\text{MP}_{2,5}$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  do cenário de produção e consumo (concentração da cidade)

$C_{\text{base}}$ : Somatória das concentrações de  $\text{MP}_{2,5}$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de todas as cidades estudadas, a partir do cenário base

Tabela 14 - Comparação entre os resultados das contribuições fracionárias

<b>Município</b>	<b>F1-Artigo</b>	<b>F2-Fração</b>	<b>F3-Módulo</b>
Cubatão	0,89	0,11	2
Guarulhos	0,94	0,06	0,76
Jundiaí	0,95	0,05	0,37
Mauá	0,94	0,06	0,76
Paulínia	0,93	0,07	0,85
Piracicaba	0,93	0,07	0,91
Santo André	0,94	0,06	0,68
São Bernardo do Campo	0,94	0,06	0,79
São José dos Campos	0,96	0,04	0,19
São Paulo	0,94	0,06	0,68
Sorocaba	0,94	0,06	0,61
<b>Total</b>	<b>10,3</b>	<b>0,7</b>	<b>8,6</b>

Fonte: elaborado pelo autor.

### 5.5. Equações 03 e 04

As equações 03 e 04 foram sintetizadas na Tabela 15 a seguir, considerando a relação entre seus resultados e componentes da equação.

O número de óbitos associados à poluição atmosférica de  $MP_{2,5}$ , apresentou os maiores valores para os municípios de São Paulo (3.247,20 óbitos), Guarulhos (3.237,35 óbitos) e Santo André (2.225,11 óbitos).





Jundiaí										
Equação 3 e 4	Anos									TOTAL
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Qualidade do ar (MP <sub>10</sub> )	24	24	31	31	29	26	30	26	25	
Qualidade do ar MP <sub>2,5</sub> (X)	12	12	15,5	15,5	14,5	13	15	13	12,5	
Xo	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	
B	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	
RR	1,068	1,068	1,108	1,108	1,098	1,080	1,103	1,080	1,074	
AF	0,064	0,064	0,098	0,098	0,089	0,074	0,093	0,074	0,069	
Óbitos >30 anos	1.067	1.064	1.034	1.187	1.169	1.227	1.222	1.209	1.296	10.475
Óbitos associados ao MP <sub>2,5</sub>	68,05	67,86	101,09	116,04	104,01	91,38	114,19	90,04	89,73	842,38

Mauá										
Equação 3 e 4	Anos									TOTAL
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Qualidade do ar (MP <sub>10</sub> )	38	32	43	37	35	35	37	30	30	
Qualidade do ar MP <sub>2,5</sub> (X)	19	16	21,5	18,5	17,5	17,5	18,5	15	15	
Xo	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	
B	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	
RR	1,142	1,113	1,163	1,137	1,128	1,128	1,137	1,103	1,103	
AF	0,124	0,102	0,140	0,121	0,114	0,114	0,121	0,093	0,093	
Óbitos >30 anos	900	991	952	1011	945	992	1027	1.009	1.087	8.914
Óbitos associados ao MP <sub>2,5</sub>	111,86	101,01	133,41	122,17	107,38	112,72	124,10	94,29	101,58	1.008,51

Paulínia										
Equação 3 e 4	Anos									TOTAL
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Qualidade do ar (MP <sub>10</sub> )	42,5	31,5	40,5	41	35,5	35	39,5	32,5	35	
Qualidade do ar MP <sub>2,5</sub> (X)	21,25	15,75	20,25	20,5	17,75	17,5	19,75	16,25	17,5	
Xo	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	
B	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	
RR	1,161	1,111	1,153	1,155	1,131	1,128	1,148	1,116	1,128	
AF	0,139	0,100	0,132	0,134	0,115	0,114	0,129	0,104	0,114	
Óbitos >30 anos	109	120	128	144	146	137	164	162	152	
Óbitos associados ao MP <sub>2,5</sub>	15,11	11,98	16,96	19,30	16,86	15,57	21,20	16,84	17,27	151,10

Piracicaba										
Equação 3 e 4	Anos									TOTAL
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Qualidade do ar (MP <sub>10</sub> )	40	33	41	46	41,5	32	42,5	34,5	33,5	
Qualidade do ar MP <sub>2,5</sub> (X)	20	16,5	20,5	23	20,75	16	21,25	17,25	16,75	
Xo	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	
B	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	
RR	1,151	1,119	1,155	1,175	1,157	1,113	1,161	1,126	1,121	
AF	0,131	0,106	0,134	0,149	0,136	0,102	0,139	0,112	0,108	
Óbitos >30 anos	838	818	780	835	822	906	794	803	820	
Óbitos associados ao MP <sub>2,5</sub>	109,68	86,67	104,56	124,17	111,47	92,35	110,08	89,74	88,50	917,22

Santo André										
Equação 3 e 4	Anos									TOTAL
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Qualidade do ar (MP <sub>10</sub> )	30	34	38,5	35	35,5	33	36	31	30	
Qualidade do ar MP <sub>2,5</sub> (X)	15	17	19,25	17,5	17,75	16,5	18	15,5	15	
Xo	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	
B	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	
RR	1,103	1,123	1,144	1,128	1,131	1,119	1,133	1,108	1,103	
AF	0,093	0,110	0,126	0,114	0,115	0,106	0,117	0,098	0,093	
Óbitos >30 anos	2.203	2.286	2.274	2.290	2.132	2.330	2.254	2.392	2.463	
Óbitos associados ao MP <sub>2,5</sub>	205,86	251,13	286,46	260,22	246,19	246,88	264,37	233,85	230,16	2.225,11

São Bernardo do Campo										
Equação 3 e 4	Anos									TOTAL
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Qualidade do ar (MP <sub>10</sub> )	44	38	41	40	35	37	36	26	25	
Qualidade do ar MP <sub>2,5</sub> (X)	22	19	20,5	20	17,5	18,5	18	13	12,5	
Xo	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	
B	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	
RR	1,167	1,142	1,155	1,151	1,128	1,137	1,133	1,080	1,074	
AF	0,143	0,124	0,134	0,131	0,114	0,121	0,117	0,074	0,069	
Óbitos >30 anos	1.606	1.754	1.808	1.766	1.794	1.829	1.734	1.901	2.042	
Óbitos associados ao MP <sub>2,5</sub>	229,76	217,99	242,37	231,14	203,85	221,01	203,38	141,58	141,39	1.832,48

São José dos Campos										
Equação 3 e 4	Anos									TOTAL
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Qualidade do ar (MP <sub>10</sub> )	23	21	24	26	23	22	30	22	23	
Qualidade do ar MP <sub>2,5</sub> (X)	11,5	10,5	12	13	11,5	11	15	11	11,5	
Xo	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	
B	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	
RR	1,062	1,048	1,068	1,080	1,062	1,055	1,103	1,055	1,062	
AF	0,058	0,046	0,064	0,074	0,058	0,052	0,093	0,052	0,058	
Óbitos >30 anos	1.008	1.043	1.039	1.089	1.051	1.134	1.097	1.291	1.442	
Óbitos associados ao MP <sub>2,5</sub>	58,53	47,77	66,26	81,10	61,02	59,06	102,51	67,23	83,73	627,22

São Paulo										
Equação 3 e 4	Anos									TOTAL
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Qualidade do ar (MP <sub>10</sub> )	38,6	33,4	34,6	36,4	35,6	32,1	34,3	29,4	28,2	
Qualidade do ar MP <sub>2,5</sub> (X)	19,3	16,7	17,3	18,2	17,8	16,05	17,15	14,7	14,1	
Xo	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	
B	0,01551	0,01551	0,01551	0,01551	0,01551	0,01551	0,01551	0,01551	0,01551	
RR	1,014	1,011	1,012	1,013	1,012	1,011	1,012	1,010	1,009	
AF	0,013	0,011	0,012	0,013	0,012	0,011	0,012	0,009	0,009	
Óbitos >30 anos	29.783	30.629	30.768	31.776	30.784	32.529	32.693	33.415	35.339	
Óbitos associados ao MP <sub>2,5</sub>	399,44	346,48	363,77	399,07	376,68	349,30	382,41	316,50	313,56	3.247,20

Sorocaba										
Equação 3 e 4	Anos									TOTAL
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Qualidade do ar ( $MP_{10}$ )	36	28	32	34	32	36	39	28	25	
Qualidade do ar $MP_{2,5}$ (X)	18	14	16	17	16	18	19,5	14	12,5	
Xo	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	
B	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	0,1551	
RR	1,133	1,092	1,113	1,123	1,113	1,133	1,146	1,092	1,074	
AF	0,117	0,084	0,102	0,110	0,102	0,117	0,128	0,084	0,069	
Óbitos >30 anos	1.277	1.361	1.370	1.521	1.446	1.607	1.557	1.738	1.706	
Óbitos associados ao $MP_{2,5}$	149,78	114,77	139,64	167,09	147,39	188,48	198,72	146,56	118,12	1.370,56

Fonte: elaborado pelo autor.

RR = Riscos relativos relacionados à exposição ao poluente  $MP_{2,5}$

X = Concentração anual de  $MP_{2,5}$  para cada município

Xo = Valor de concentração para  $MP_{2,5}$  em que RR seria mínimo

$\beta$  = Coeficiente de dose-resposta de concentração

AF = Fração de óbitos por causas cardiorrespiratórias atribuídas à poluição atmosférica ( $MP_{2,5}$ )

A Tabela 16 representa a taxa de mortalidade por 100.000 habitantes, nos municípios analisados durante o período de estudo. Os valores de óbitos associados ao MP<sub>2,5</sub> referem-se à somatória total dos óbitos por doenças cardiorrespiratórias associados ao poluente durante o período de estudo. A maior taxa de mortalidade apresentada é do município de Cubatão (380,13/100.000 habitantes) e a menor taxa de mortalidade é do município de São Paulo (28,85/100.000 habitantes).

Tabela 16 – Taxa de mortalidade por 100.000 habitantes

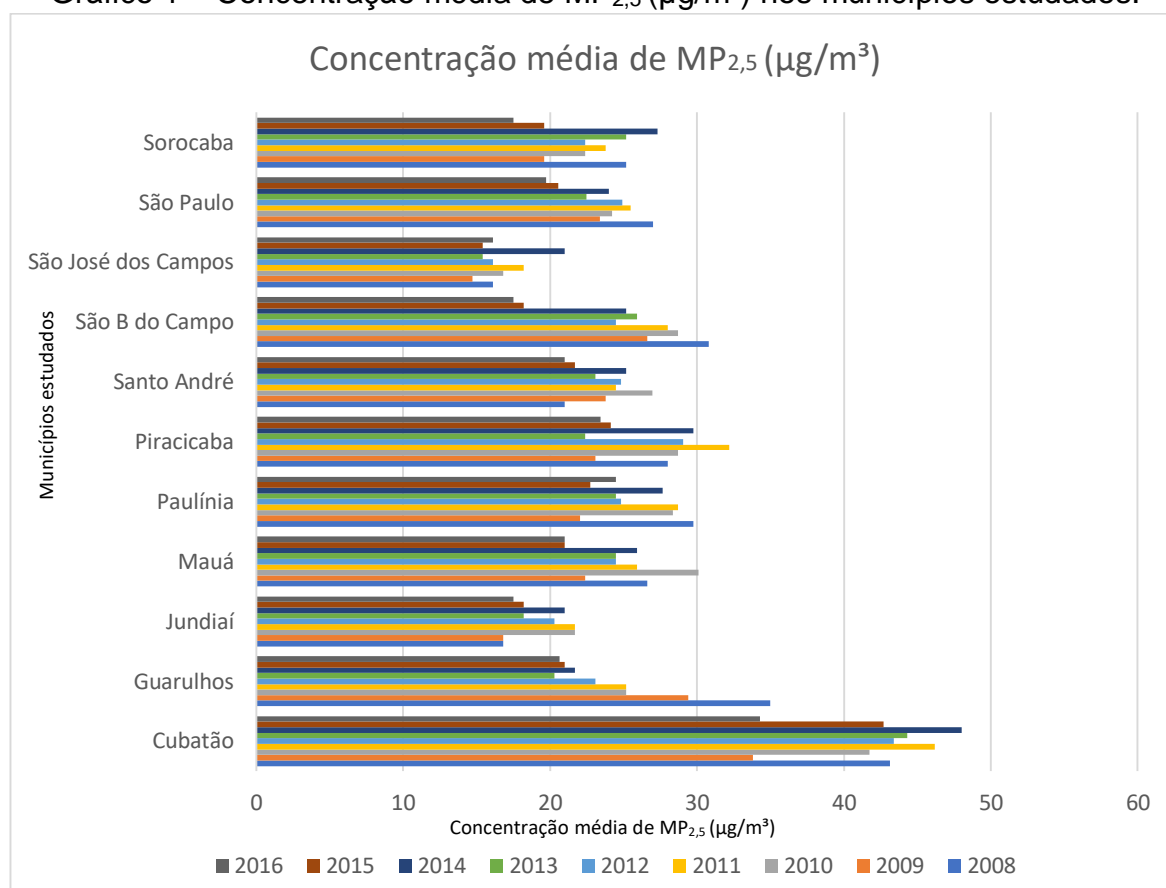
<b>Município</b>	<b>População - Censo 2010 (hab)</b>	<b>Óbitos associados ao MP<sub>2,5</sub></b>	<b>Taxa mortalidade (100.000 hab)</b>
<b>Cubatão</b>	118.720	451,30	380,13
<b>Guarulhos</b>	1.221.979	3.237,36	264,92
<b>Jundiaí</b>	370.126	842,38	227,59
<b>Mauá</b>	417.064	1.008,51	241,81
<b>Paulínia</b>	82.146	151,10	183,94
<b>Piracicaba</b>	364.571	917,22	251,58
<b>Santo André</b>	676.407	225,11	328,96
<b>São Bernardo do Campo</b>	765.463	1.832,48	239,39
<b>São José dos Campos</b>	629.921	627,22	99,57
<b>São Paulo</b>	11.253.503	3.247,20	28,85
<b>Sorocaba</b>	586.625	1.370,56	233,63

Fonte: elaborado pelo autor.

## 5.6 Análise dos resultados

Os gráficos a seguir foram construídos com base nos resultados das equações e levantamento de dados apresentados anteriormente.

O Gráfico 1 representa a concentração média de MP<sub>2,5</sub> (µg/m³) nos municípios estudados e foi construído a partir dos dados obtidos no Relatório de Qualidade do Ar da CETESB (anos 2008 a 2016). Verificou-se as maiores concentrações do poluente nos municípios de Cubatão em quase todo o período analisado, com destaque ao ano de 2008 que apresentou as maiores concentrações anuais e municipais (43,12 µg/m³). O município com menor concentração durante o período analisado foi São José dos Campos, quando comparado com as demais cidades (média de 16,64 µg/m³). Os municípios de São Paulo, Guarulhos e São Bernardo do Campo tem apresentado uma redução considerável na concentração de MP<sub>2,5</sub> quando comparados os anos de 2008 a 2016.

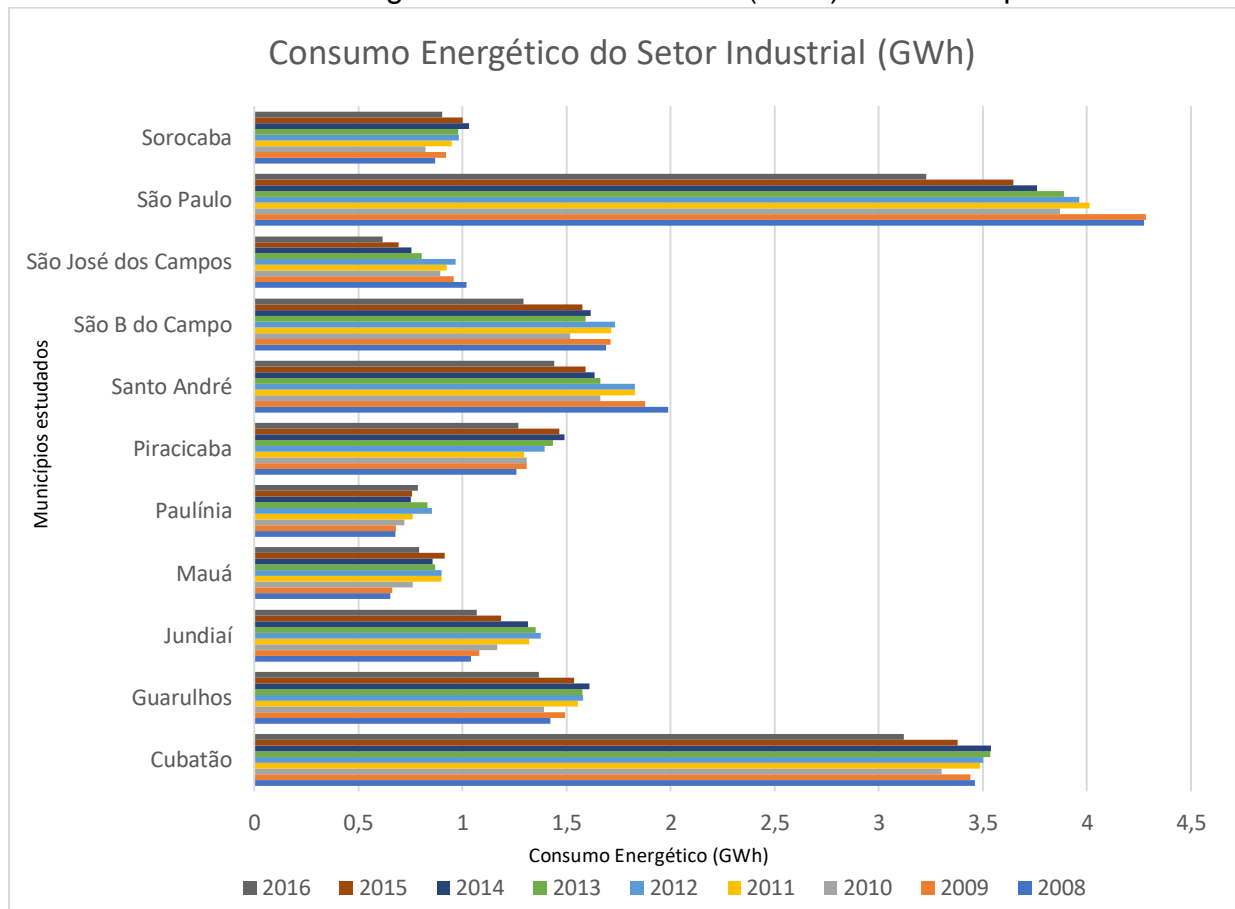
Gráfico 1 – Concentração média de  $MP_{2,5}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nos municípios estudados.

Fonte: elaborado pelo autor.

O Gráfico 2 apresenta o consumo energético do setor industrial (GWh) nos municípios analisados durante o período de estudo. As cidades de São Paulo e Cubatão apresentam o maior consumo energético pelo setor, enquanto as cidades de Mauá e Paulínia apresentam os menores consumos.



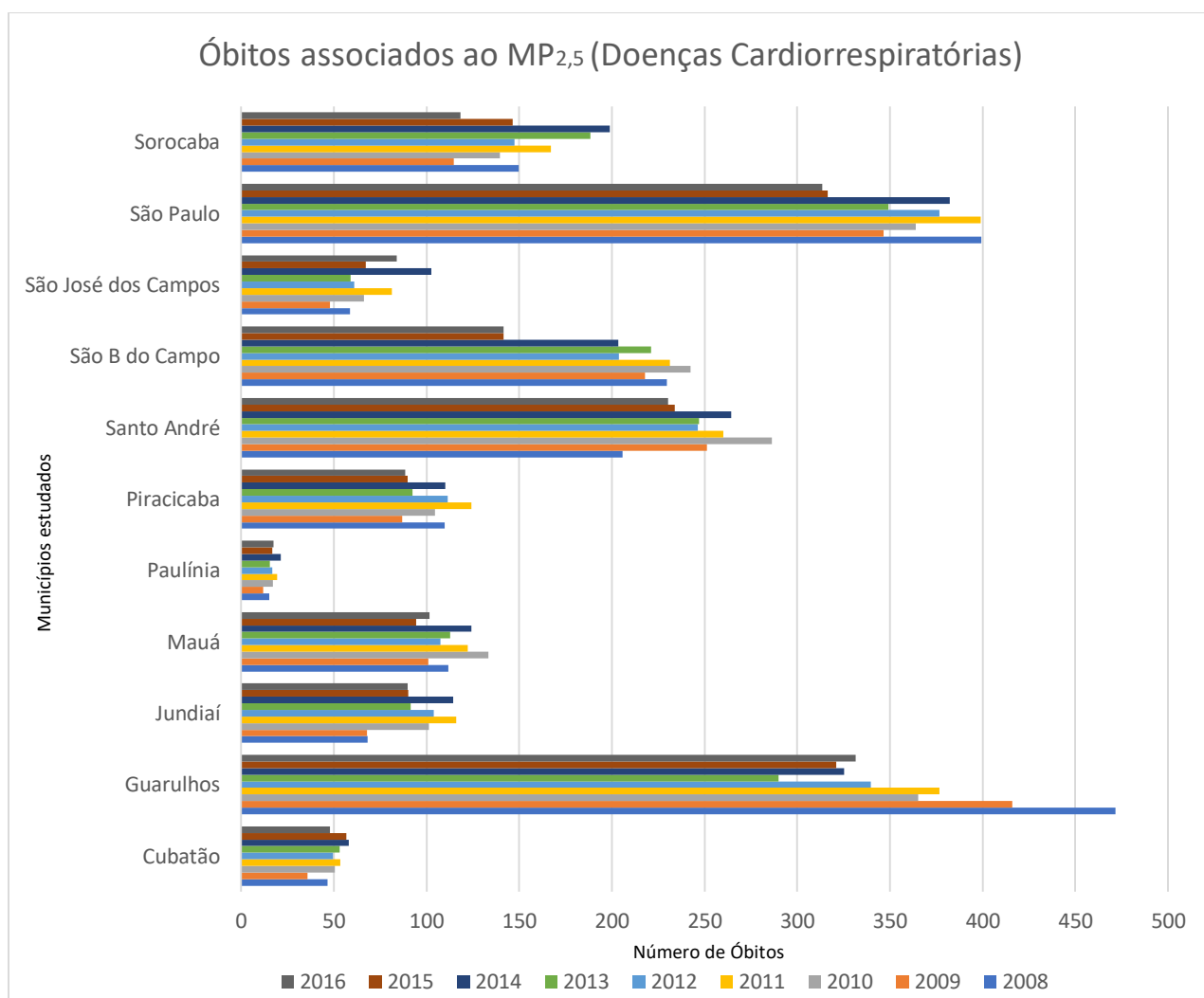
Gráfico 2 – Consumo Energético do Setor Industrial (GWh) dos municípios estudados



Fonte: elaborado pelo autor.

O Gráfico 3, por fim, associa os óbitos por doenças cardiopulmonares associadas ao  $MP_{2,5}$  nos municípios estudados. A cidade de Guarulhos e São Paulo lideram com o maior número de óbitos, enquanto a cidade de Paulínia apresenta o menor número de óbitos.

Gráfico 3 – Número de óbitos por doenças cardiorrespiratórias associadas ao MP<sub>2,5</sub> nos municípios estudados



Fonte: elaborado pelo autor.

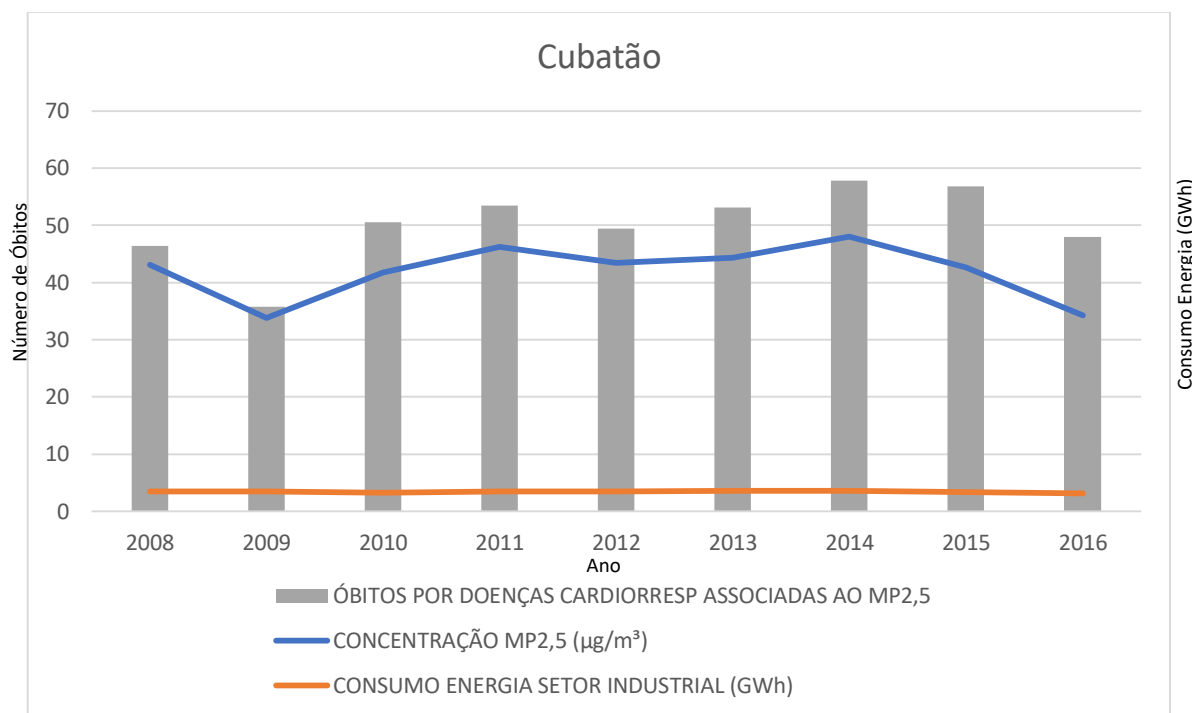
## 5.7 Análise dos dados municipais

Os Gráficos 4 ao 14 apresentam os dados obtidos para concentração média anual de MP<sub>2,5</sub> (µg/m³), consumo de energia pelo setor industrial (GWh) e quantidade de óbitos por doenças cardiorrespiratórias associadas ao MP<sub>2,5</sub>, para cada município estudado. Os gráficos apresentam uma forte correlação entre o número de óbitos com a concentração de MP<sub>2,5</sub>. Quando há uma grande concentração do poluente MP<sub>2,5</sub> na atmosfera, observa-se um aumento na mortalidade por doenças cardiorrespiratórias no período.

O consumo energético pelo setor industrial e a concentração de MP<sub>2,5</sub> não apresentou alto grau de correlação, visto que a situação varia para cada município.

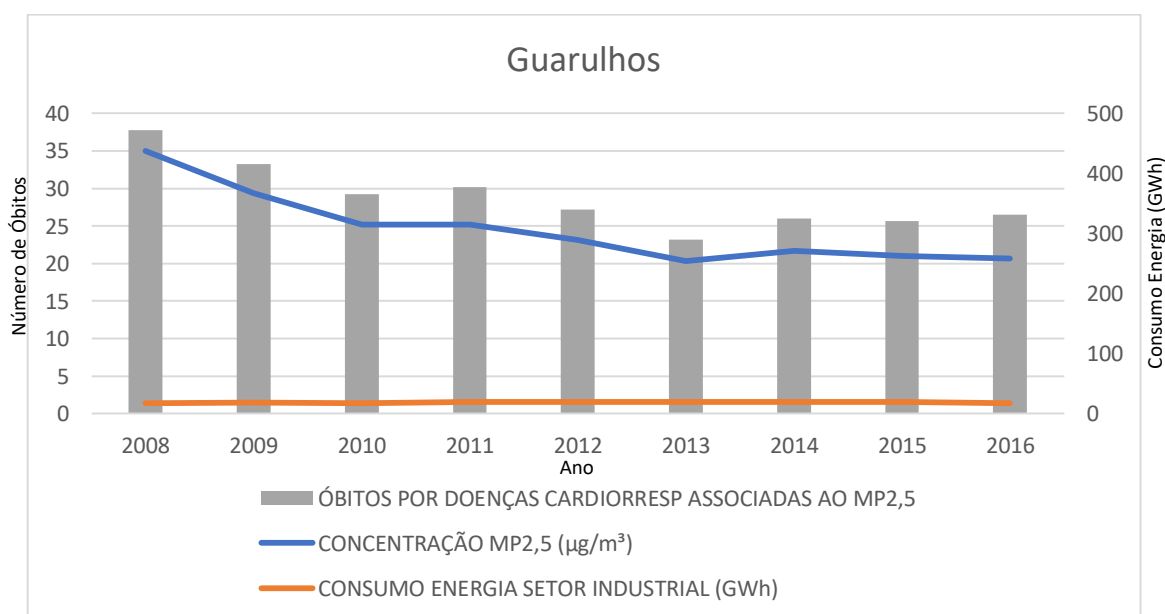
Os municípios que apresentaram correlação entre o ano de menor consumo energético e menor concentração do poluente foram: Cubatão, Jundiaí, Santo André e São Paulo. O único município que apresentou correlação entre o ano com maior consumo energético e maior concentração do poluente foi Sorocaba.

Gráfico 4 – Município de Cubatão



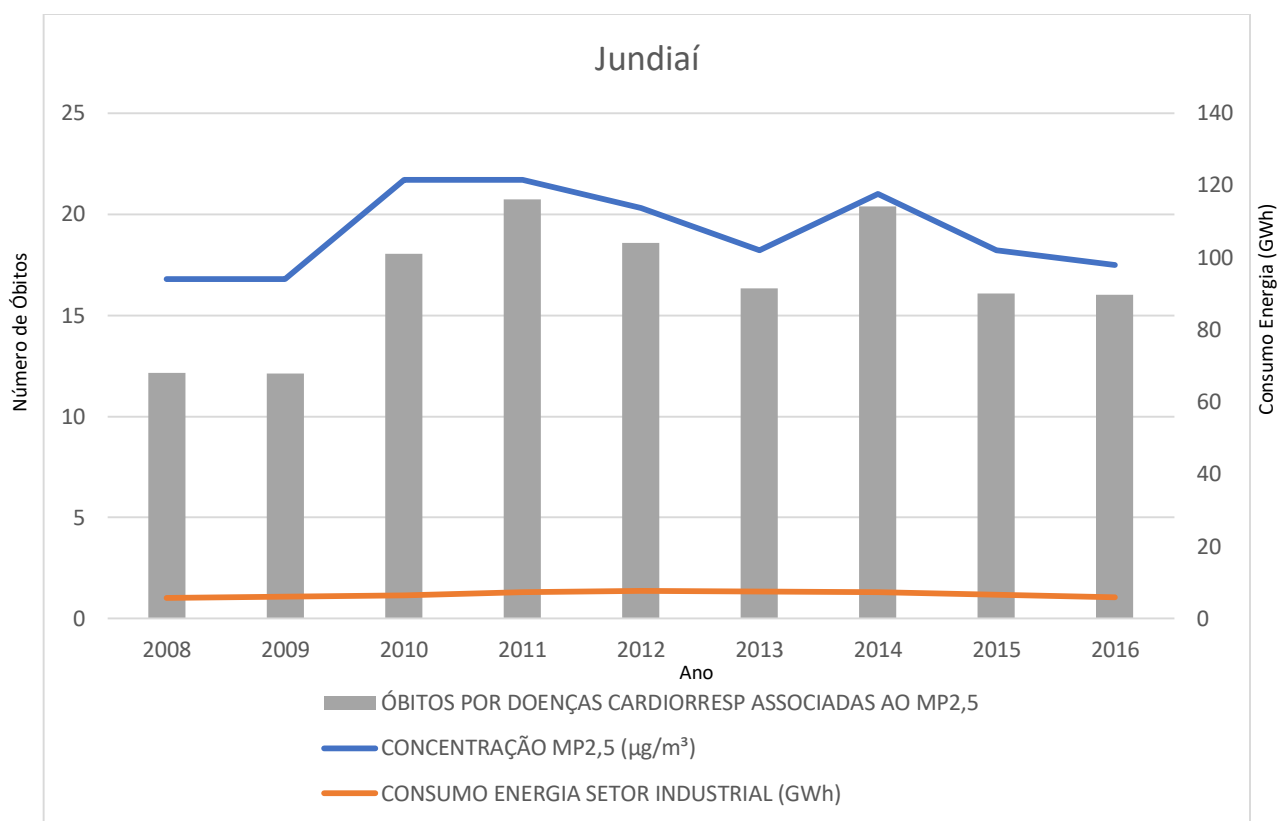
Fonte: elaborado pelo autor.

Gráfico 5 – Município de Guarulhos



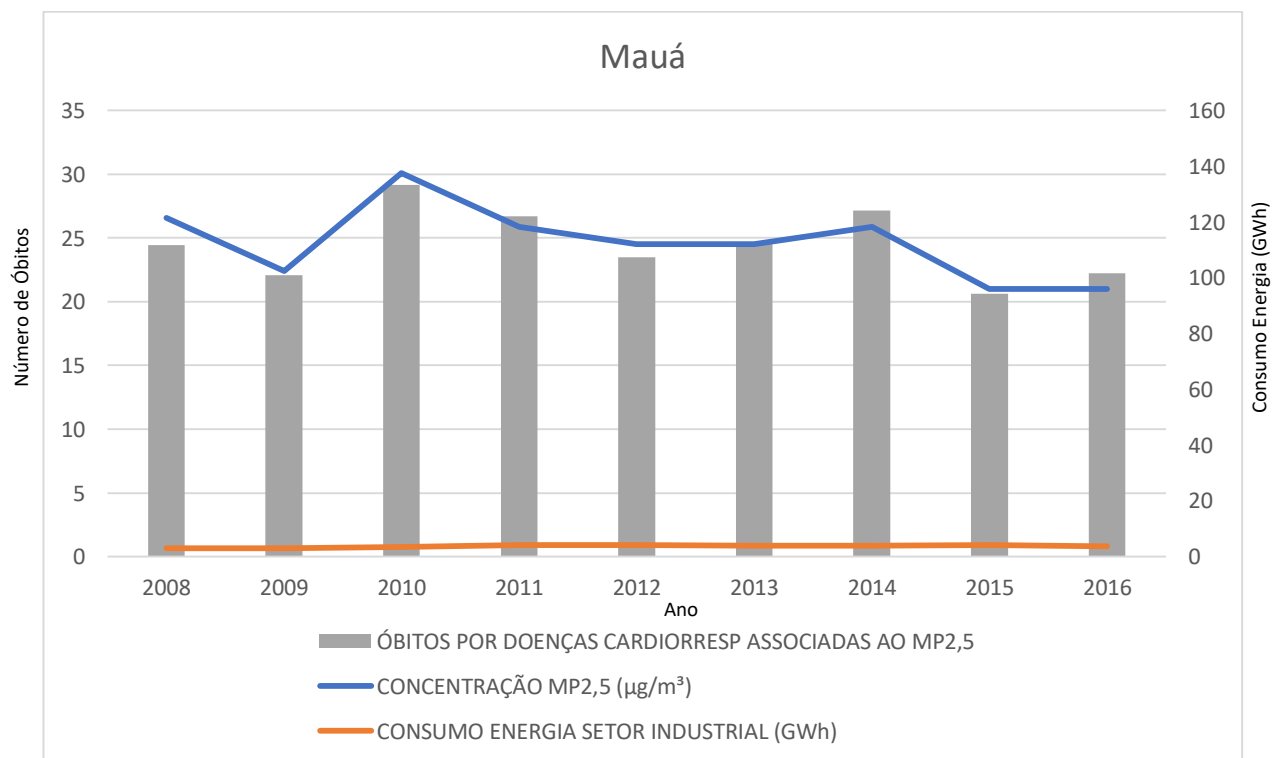
Fonte: elaborado pelo autor.

Gráfico 6 – Município de Jundiaí



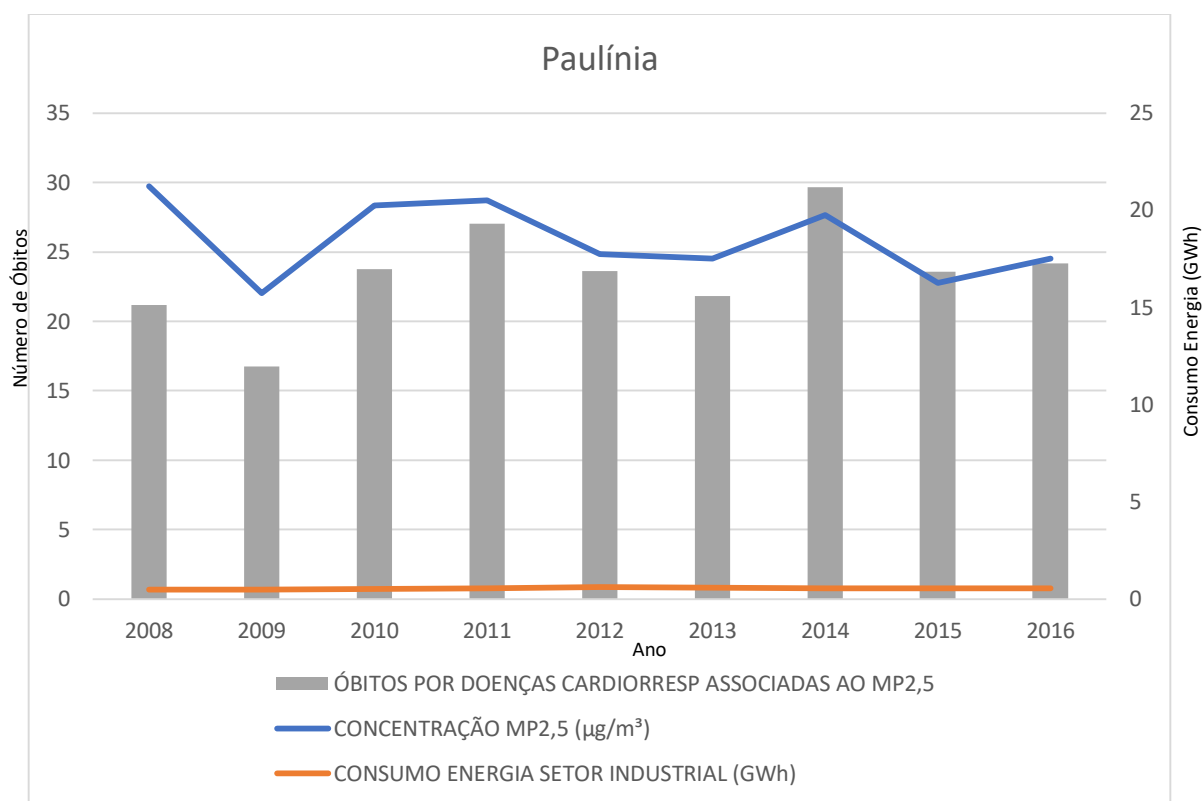
Fonte: elaborado pelo autor.

Gráfico 7 – Município de Mauá



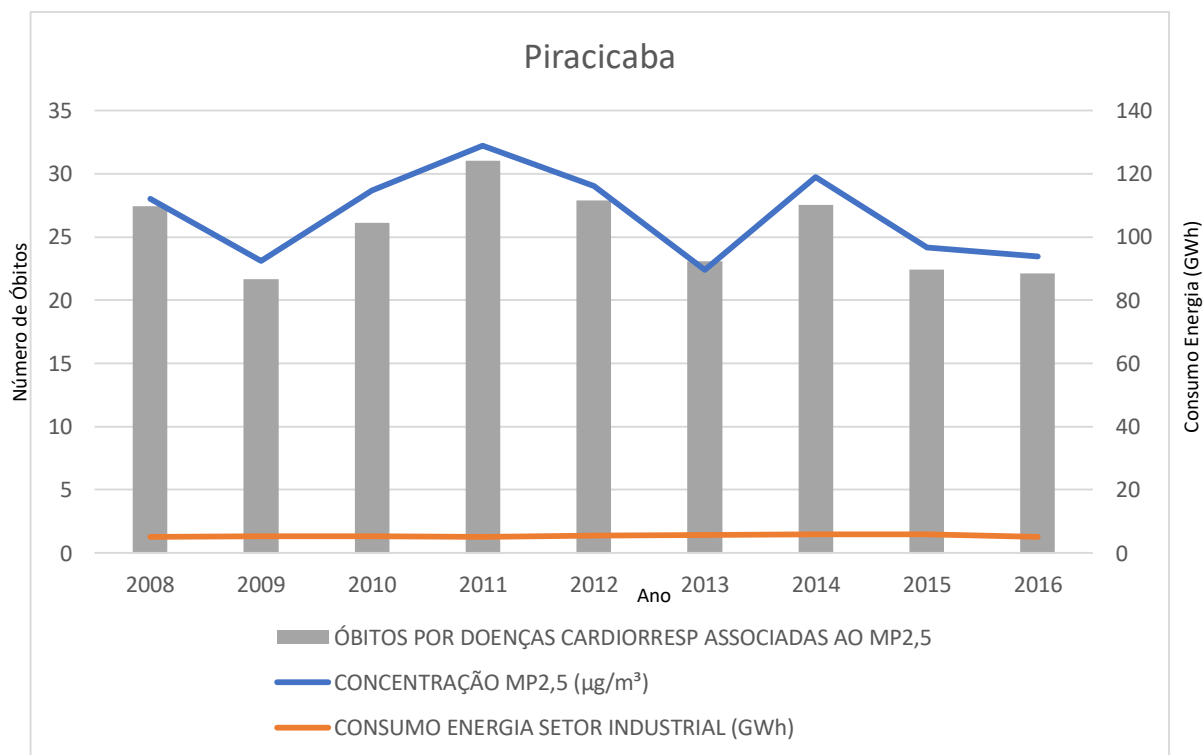
Fonte: elaborado pelo autor.

Gráfico 8 – Município de Paulínia



Fonte: elaborado pelo autor.

Gráfico 9 – Município de Piracicaba



Fonte: elaborado pelo autor.

Gráfico 10 – Município de Santo André

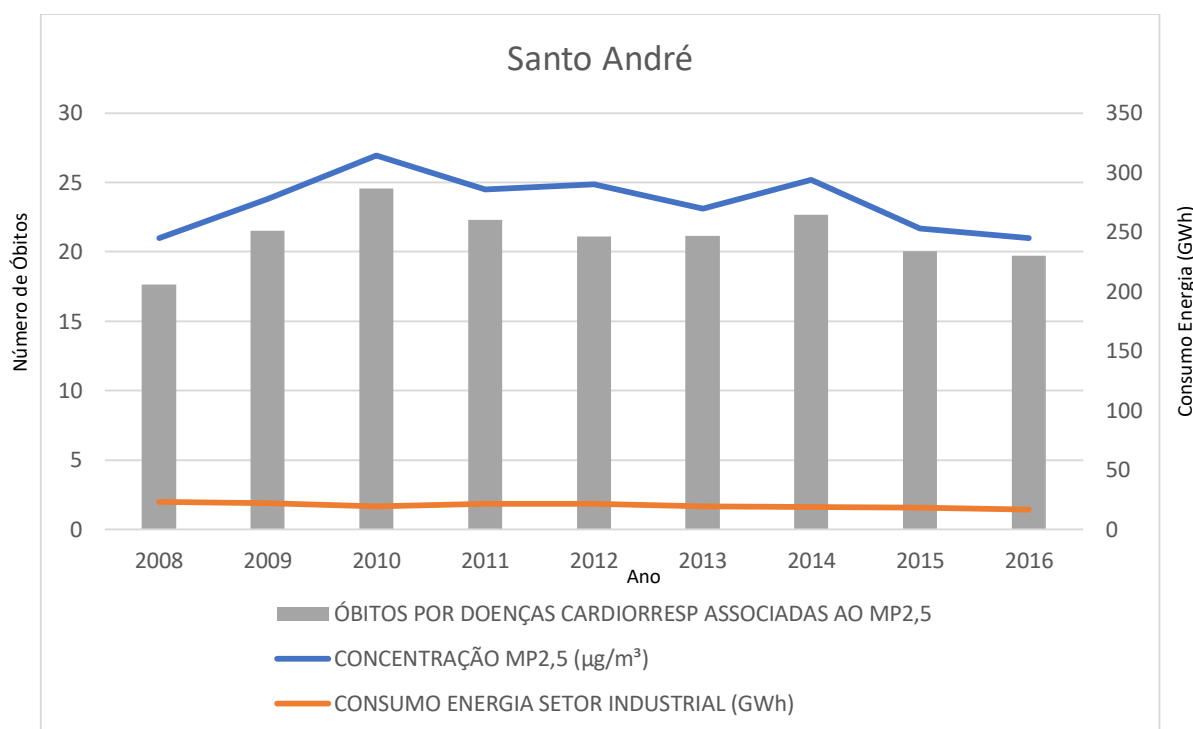


Gráfico 11 – Município de São Bernardo do Campo

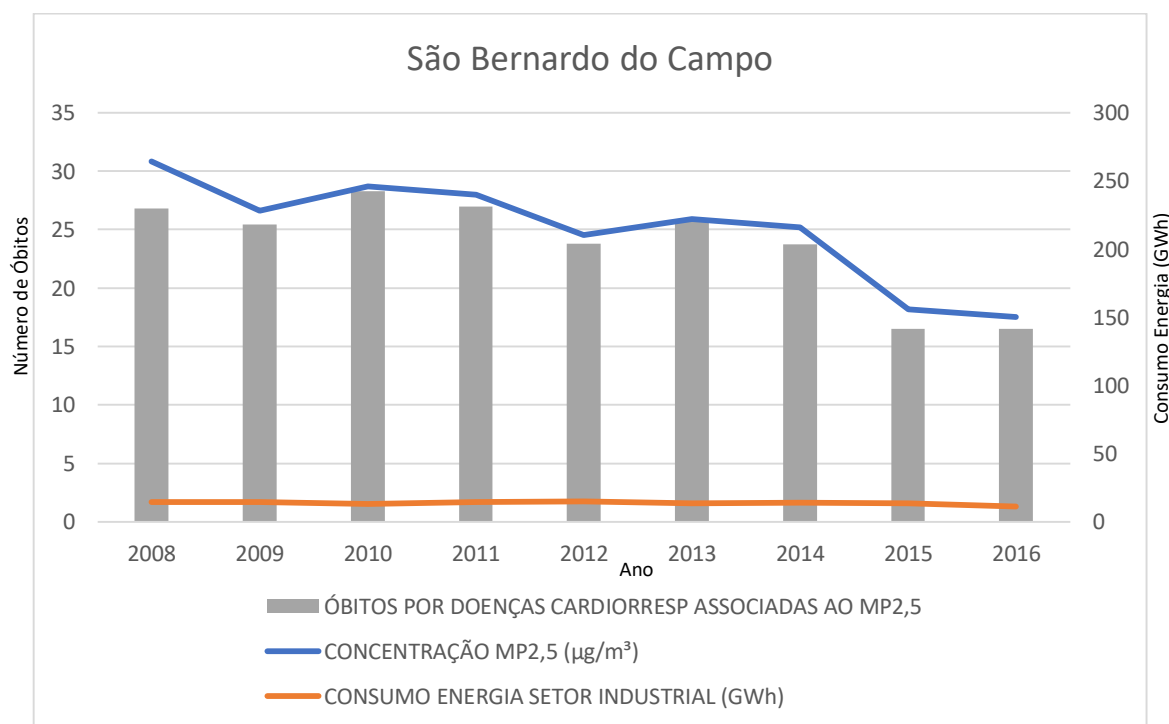
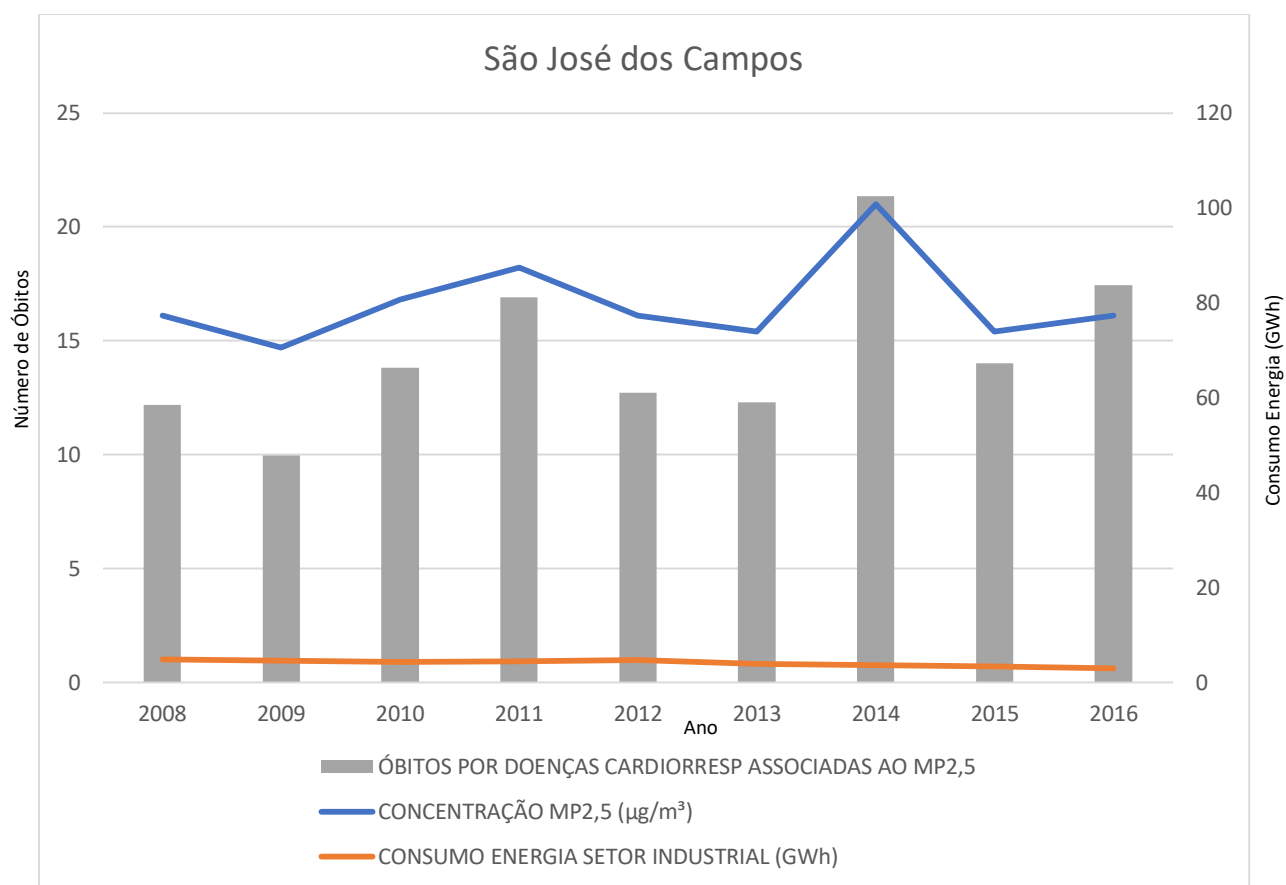
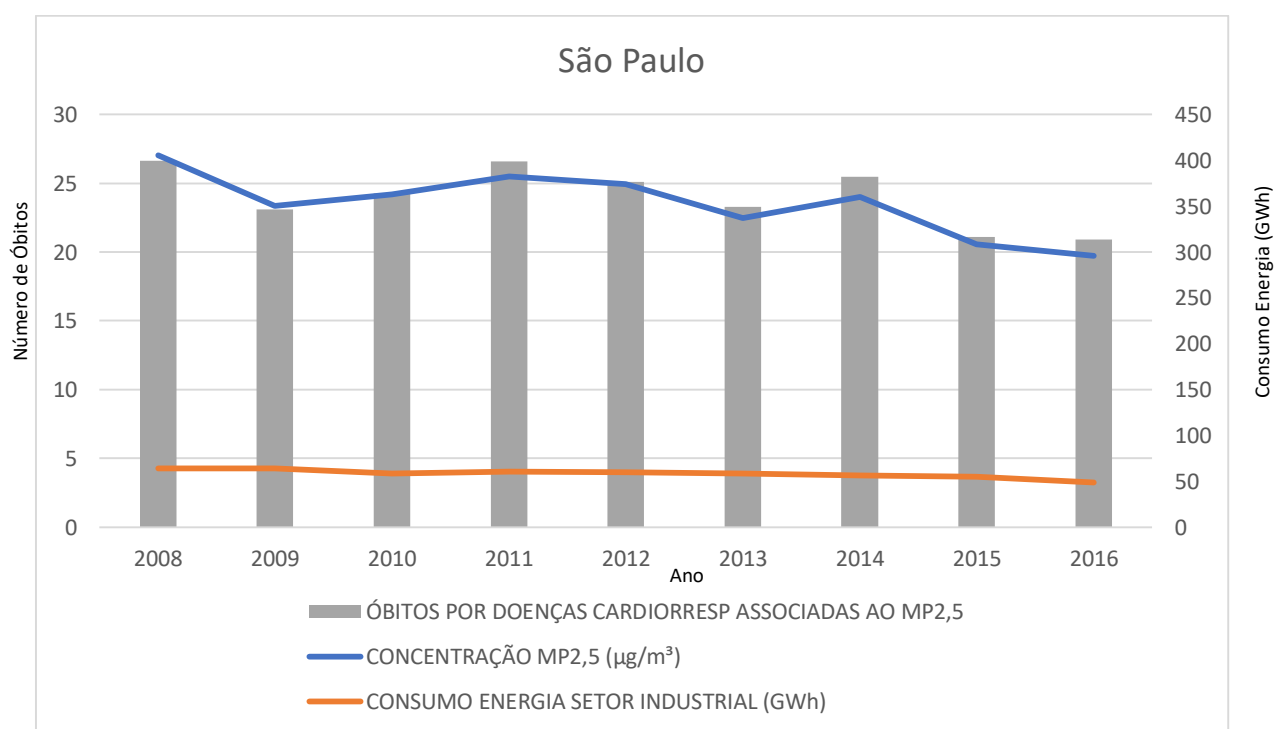


Gráfico 12 – Município de São José dos Campos.



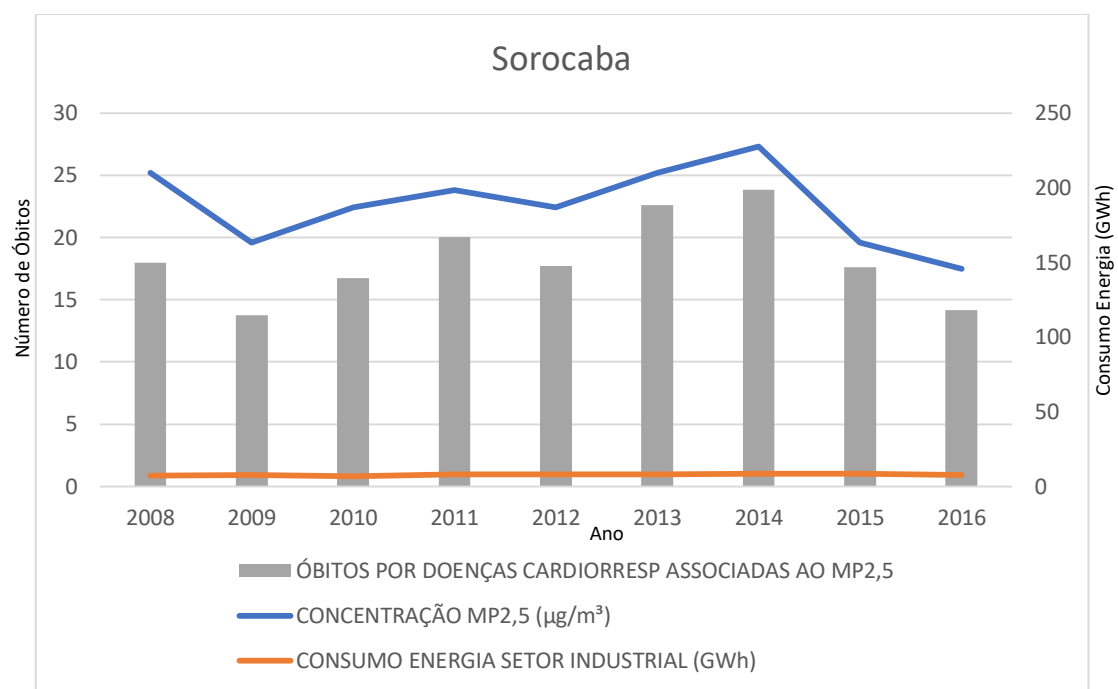
Fonte: elaborado pelo autor.

Gráfico 13 – Município de São Paulo.



Fonte: elaborado pelo autor.

Gráfico 14 – Município de Sorocaba



Fonte: elaborado pelo autor.



## 6. DISCUSSÃO

### 6.1 Dificuldades Encontradas

Inicialmente, este projeto visava reproduzir o estudo realizado por Zhang et al (2017) para o cenário brasileiro. Ao utilizar as principais equações utilizadas pelo autor, verificou-se que alguns aspectos deveriam ser adaptados, visto a disponibilidade de dados no Brasil para a área de estudo.

A publicação de Zhang et al (2017) tiveram como objetivo principal associar os efeitos da poluição atmosférica transfronteiriça com impactos na saúde da população mundial. Além disso, analisaram principalmente as regiões de alta produção de bens de consumo (como a China) e as regiões que o consumiam, relacionando os impactos das áreas de emissões de poluentes atmosféricos à intensificação do consumo em outras regiões do planeta.

Ao realizar a adaptação do estudo dos autores com este trabalho, algumas dificuldades encontradas para estabelecer a comparação entre o cenário chinês dos autores e o cenário brasileiro, especificamente ao Estado de São Paulo, levaram a uma série de limitações desta pesquisa. Diversas séries de dados, tais como a concentração de  $MP_{2,5}$ , alguns não estavam disponíveis para todas as redes de monitoramento da CETESB na área de estudo, bem como a disponibilidade das concentrações de  $MP_{10}$  para todos os anos em todas as estações de monitoramento. Para isto, realizou-se uma conversão utilizada pelo autor OSTRO (2004), de maneira a investigar os impactos na saúde da população de maneira mais fiel à ideia inicial.

Da mesma forma, os dados do DATASUS para óbitos por doenças cardiorrespiratórias só estão disponíveis até o ano de 2016, o que reduziu o período de estudo em relação à ideia inicial do trabalho.

As emissões calculadas pela Equação 01 também sofreram adaptações, pois não foi possível mensurar a emissão de  $MP_{10}$  e utilizou-se como indicador as emissões de  $CO_2$  da matriz elétrica. Importante ressaltar que a matriz elétrica do Brasil é bastante peculiar e possui aproximadamente 80% de geração por fontes renováveis (EPE, 2018) em contraste aos 20% dos demais países da OCDE (EPE, 2018).

Os dados utilizados pelo autor que utilizou o Global Burden of Disease (GBD) são regionais, os quais apresentam apenas o consolidado para o Brasil e não por estado brasileiro, levando à impossibilidade de sua utilização. Além destes aspectos, o uso do software GEOS-Chem utilizado pelos autores também foi adaptado devido

ao tempo de realização deste trabalho e dos esforços entre especialistas da área para um estudo tão aprofundado quanto ao da publicação de referência.

Apesar destas dificuldades, outros estudos foram de grande relevância para adequar da melhor forma possível à nossa disponibilidade de dados para a área de estudo, dando destaque principalmente ao estudo de OSTRO (2004), os Relatórios de Qualidade do Ar da CETESB (2008 a 2016) e os Anuários Energéticos do Estado de São Paulo (2008 a 2016). De toda forma, utilizou-se de todas as ferramentas disponíveis para obter os resultados mais fiéis à realidade, de maneira a contribuir com o cenário atual com um diagnóstico de impactos à saúde.

## **6.2 Panorama Geral**

Nesta etapa, ressaltam-se os resultados mais significativos encontrados durante a pesquisa, confrontando com estudos semelhantes e buscando atender aos objetivos deste trabalho.

O levantamento de diversos estudos permite a afirmação da importância econômica do setor industrial para todos os países, impactando diretamente aspectos produtivos como o crescimento econômico, a geração de empregos, entre outros. Com o aumento da produção devido à intensificação do consumo e crescimento populacional, houve o consequente desenvolvimento das indústrias que usufruem desenfreadamente os recursos naturais (SEVERO et al, 2018; ZHANG et al, 2017). Estes fatores em conjunto, além da alta densidade populacional, contribuem com a concentração de  $MP_{2,5}$  (LIU et al, 2019; HIXSON et al, 2012).

Partindo deste pressuposto, averiguou-se ao longo da relação de diversos autores que o setor industrial também se mostra com um alto potencial de impacto, principalmente quanto à qualidade do ar nos centros urbanos (HAN et al, 2014; YANG et al, 2008). Um dos principais produtos do processo industrial é a poluição atmosférica, que deteriora a qualidade do ar e afeta a saúde das pessoas.

O Banco Mundial apresentou em 1994 uma publicação chamada “The Industrial Pollution Projection System - (IPPS)”, que visa implementar o controle da poluição atmosférica industrial. Este método propõe que, mesmo com a falta de dados nos países e regiões, seria possível mensurar a poluição industrial através dos dados de emprego, valor agregado e produção. Desta forma, realiza a estimativa de poluição segundo a intensidade da poluição emitida por unidade de atividade. Esta foi a

proposta que aplicou-se neste estudo, mensurando a emissão de  $MP_{2,5}$  pela indústria, porém a partir do consumo energético do setor.

Estudou-se os efeitos do poluente  $MP_{2,5}$  na saúde da população, no que diz respeito número de óbitos por doenças cardiorrespiratórias, em 11 municípios do Estado de São Paulo com maior consumo energético pelo setor industrial.

Avaliando a Figura 13 da localização espacial destes municípios, estes estão localizados na porção sudeste do Estado de São Paulo, em regiões litorâneas (Cubatão), região do interior (Jundiaí, Paulínia, Piracicaba, São José dos Campos e Sorocaba) e a grande RMSP (Guarulhos, Mauá, Santo André, São Bernardo do Campo e São Paulo) organizados em uma concentração bastante interessante no que diz respeito à consumo energético e produção industrial. Apenas estes 11 municípios concentram aproximadamente metade do PIB estadual (2015), somando um total de R\$ 955.228,57. Segundo Vieira et al (2014), os padrões de crescimento industrial aumentam o nível de renda per capita de um país, sendo um indicador de um maior desenvolvimento econômico associado ao aumento na participação do setor industrial no PIB. Desta forma, com alta participação no PIB e estando entre os maiores consumidores de energia elétrica pelo setor industrial, relacionando coesão na relação entre as variáveis.

Seguindo este pressuposto, identificou-se que os municípios de São Paulo e Cubatão foram os maiores consumidores de energia elétrica pelo setor industrial dentre as cidades estudadas. Nota-se que São Paulo, apesar de ter emitido mais  $tCO_2$  ao ano (média de 251.003  $tCO_2$ ), apresenta o maior número de unidades consumidoras (em média 19.491 indústrias). Por outro lado, Cubatão, que foi o segundo maior consumidor apresenta um número bastante inferior de unidades consumidoras (em média 89 indústrias) e emissão de em média 227.418  $tCO_2$  ao ano. Enquanto as indústrias que atuam em São Paulo poluem em média 13,18  $tCO_2$  por unidade consumidora, as indústrias de Cubatão poluem 2.782  $tCO_2$  por unidade consumidora, sendo então consideradas altamente poluidoras.

Dentre os cinco municípios com maior consumo de energia elétrica pelo setor industrial (São Paulo, Cubatão, Santo André, São Bernardo do Campo e Guarulhos, respectivamente), observou-se que o subsetor industrial predominante são os relacionados ao setor químico, setor de petroquímica, alimentos e bebidas, indústria têxtil, metalúrgica, autopeças e automobilística, como demonstrado na Tabela 5.

Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica da Empresa de Pesquisa Energética do Brasil (2018), estes são alguns dos setores que mais consumiram energia elétrica no ano de 2017, sendo a metalurgia a primeira (consumo de 38.254 GWh), em segundo a fabricação de produtos alimentícios (consumo de 20.714 GWh) e em terceiro fabricação de produtos químicos (consumo de 17.707 GWh). A fabricação de produtos têxteis assumiu a oitava posição (6.374 GWh) e em seguida o setor automobilístico (6.337 GWh). Este alto consumo energético e alta produção industrial tem refletido em aspectos positivos, mas também traz como produto a produção de rejeitos como a poluição atmosférica. Desta forma, a busca pelo equilíbrio entre os benefícios e malefícios que esta atividade econômica traz às regiões se faz cada vez mais urgente, entendendo sua dinâmica e mitigando seus impactos ao longo do processo produtivo (LIU et al, 2019).

As indústrias do petróleo e petroquímica por exemplo, representam posição de destaque no consumo energético devido aos seus processos eletro-intensivos de refino (MAGALHÃES, 2006), além dos impactos na saúde e no bem-estar da população do entorno que estão expostos aos subprodutos destas fábricas, como odores, poluentes atmosféricos, entre outros, afetando o estado psicológico e psicossocial (MORAES, 2010).

O setor têxtil, também muito importante para o Estado de São Paulo utiliza muita energia elétrica, energia de gás natural, lenha e GLP em todas as etapas de produção para o funcionamento da força motriz de motores elétricos, bombas, ventiladores, entre outros maquinários, além da geração de vapor nas grandes caldeiras industriais e a refrigeração. Somente o setor têxtil utilizou 0,4% de todo consumo de energia no Brasil no ano de 2014 (CNI, 2017).

As indústrias de pequeno porte também são de grande importância quando analisa-se as emissões de poluentes atmosféricos do setor industrial. Apesar do seu porte não se comparar às grandes indústrias, estas levam à impactos ambientais consideráveis. Quase sempre o alvo legal visa as indústrias de grande porte e de atividades com maior impacto legal, estando estas sujeitas à legalização de seu licenciamento prévio, licença de instalação, licença de operação e regulares inspeções e adequações à legislação vigente. Assim, a contribuição de pequenas fábricas para deterioração da qualidade do ar é pouco conhecida, mas não podem ser consideradas insignificantes para a poluição atmosférica local (CAMARA et al., 2015).

Muitas tecnologias estão sendo utilizadas para reduzir a poluição industrial, dentre elas, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), vem medindo a concentração de partículas e opacidade de gases, com o objetivo de reduzir o material particulado gerado na queima de óleo combustível pela indústria. Compostos por catalisadores de combustão e dispersantes de asfaltenos, a tecnologia criada reduz até 75% do material particulado gerado pelas indústrias. Segundo Filho e Ett, a redução do material particulado provindo de fontes industriais provém da qualidade da combustão, ou seja, a combustão completa do combustível. Há também tecnologias como o filtro de manga, precipitador eletrostático, separador centrifugo, lavador de gases e câmara inercial que auxiliam a separação do MP dos gases.

Dentre os municípios analisados, os que apresentam maior média de concentração anual de  $MP_{2,5}$  ( $\mu g/m^3$ ) foram Cubatão, Paulínia, Piracicaba, Mauá e Santo André, com concentrações de 49, 35, 33,5, 30 e 30  $\mu g/m^3$  respectivamente. Cubatão apresentou 39 ultrapassagens do PQAr federal e 75 ultrapassagens do PQAr estadual em 2016, enquanto a cidade de Paulínia apresentou 3 ultrapassagens do PQAr estadual. A cidade de São Paulo não teve as maiores concentrações de  $MP_{2,5}$ , mas apresentou 3 ultrapassagens do PQAr estadual. O atual PQAr do Estado de São Paulo apresenta um cenário mais restritivo do que o PQAr federal, indicando as mesmas concentrações indicadas pela OMS. A ultrapassagem dos PQAr é bastante perigosa e deve ser evitada pelos municípios. Diversos estudos apontam que quando as concentrações de  $MP_{2,5}$  ultrapassam o PQAr indicado pela OMS (2016), poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população (MANDAL et al, 2011; SANTOS et al, 2015; VORMITAGG et al, 2014; CASTRO et al, 2013).

As maiores contribuições fracionárias são dos municípios de Cubatão (0,11), Piracicaba (0,07) e Paulínia (0,07). Cubatão apresentou as maiores concentrações de  $MP_{2,5}$  no período de estudo, com destaque para o ano de 2008 com concentrações de 43,12  $\mu g/m^3$ . Em 2008 ocorreu um marco de 25 anos do início do programa de recuperação ambiental em Cubatão, com investimento de US\$ 1 bilhão, reduzindo a quantidade de poluentes atmosféricos emitidos pelo polo industrial da cidade. Comparando as emissões de 2008 com 1983 (início do programa), ocorreu a redução de 98,9%, mesmo com a crescente produção industrial. O estudo realizado pelo Centro das Indústrias do Estado de São Paulo (CIESP) em 2008 destacou a redução na emissão de amônia em 99,4% e a quantidade de emissões de hidrocarbonetos em 95,7%, além da redução no consumo de energia em 23%, entre outros. Mesmo

distante de alcançar as concentrações recomendadas pelo PQAr da OMS para  $MP_{2,5}$ , a cidade de Cubatão deixou de ser considerada o “Vale da Morte”, mas com base nos Relatórios de Qualidade do Ar da CETESB, que diversas melhorias precisam ainda ser implementadas para que a qualidade do ar respirado não seja um redutor da qualidade de vida da população.

Segundo o estudo de Liu et al (2019), as condições que influenciam as concentrações de  $MP_{2,5}$  incluem temperatura, pressão do ar, precipitação, umidade relativa do ar, velocidade e direção dos ventos, duração da luz do Sol e altura. Mas a topografia, vegetação e clima também exercem influência considerável sobre os poluentes atmosféricos (HESTER; HARRISON, 2009). Os ventos, pluviosidade e temperatura são muito variáveis no Estado de São Paulo. Segundo a Figura 7 deste estudo, a região de estudo apresentou uma anomalia de temperatura, aumentando de 0,2 a 0,4°C em 2017, contribuindo com a dispersão do  $MP_{2,5}$ . Quanto à temperatura média, as cidades de Guarulhos, Mauá, Jundiaí, Piracicaba, Santo André, São Bernardo do Campo, São José dos Campos, São Paulo e Sorocaba, apresentam temperaturas anuais entre 23,05 a 24,17°C. Os municípios de Cubatão e Paulínia apresentam temperaturas médias anuais um pouco mais elevadas, entre 24,45 e 25,95°C. Segundo estudo de Bari et al (2017), a concentração de  $MP_{2,5}$  é favorável em temperaturas mais frias, quando comparado o período de inverno e verão no Canadá. Apesar destes fatos, o estudo de Chan et al (2018) e Han et al (2014), constata que as concentrações de  $MP_{2,5}$  em áreas urbanas apresentam máximas sazonais, independente da estação do ano, sendo mais favorável por conta da construção urbana.

Considerando apenas a rosa dos ventos observada na Figura 10, a direção dos ventos indica que a RMSP (a considerar os municípios de Guarulhos, Mauá, Santo André, São Bernardo do Campo e São Paulo), tende a dispersar os poluentes sentido o litoral do estado, principalmente Cubatão que já apresenta um dos piores índices de qualidade do ar dentre as cidades da área de estudo. Já a região de Cubatão tende a dispersar os poluentes sentido Santos/Guarujá. A região de São José dos Campos tende a dispersar os poluentes atmosféricos para a região do sul do Estado de Minas Gerais. A região de Piracicaba tende a transportar os poluentes para o sudeste, sentido região de Campinas, contribuindo também para as concentrações da cidade de Paulínia. O fluxo do município de Paulínia (próxima a Campinas), contribui com as concentrações na região de Jundiaí.

Segundo Zhang et al (2017), a análise da dinâmica da atmosfera e dispersão dos poluentes na área de estudo é bastante importante para determinar as influências entre as emissões das cidades com maior produção industrial e as com menor índice de industrialização. Isto pode aprimorar a melhora na saúde da população em outras regiões que recebem estes poluentes devido à dinâmica de dispersão da atmosfera. Para afirmações mais detalhadas quanto à dinâmica transfronteiriça dos poluentes atmosféricos, são necessários estudos mais aprofundados sobre a meteorologia e topografia da região de estudo, bem como a utilização de softwares adequados para a análise.

Quanto aos efeitos adversos na saúde, dentre os 11 municípios estudados, os municípios com o maior número de óbitos por doenças cardiorrespiratórias associadas ao MP<sub>2,5</sub> foram São Paulo (3.247,20 óbitos), seguido de Guarulhos (3.237,35 óbitos) e Santo André (2.225,11 óbitos).

Quanto às taxas de mortalidade por 100.000 habitantes, os municípios de Cubatão (380,13), Santo André (328,96), Guarulhos (264,92), Piracicaba (251,58) e Mauá (241,81) são as cidades com maior preocupação quanto ao número de óbitos. Quando comparado com a concentração de poluentes, estes municípios também apresentaram as maiores concentrações de MP<sub>2,5</sub> no período de estudo. Ao contrário do que se pensa, a cidade de São Paulo por ser um grande referencial econômico no estado não apresentou alta taxa de mortalidade por doenças cardiorrespiratórias associada ao MP<sub>2,5</sub>, no valor de 28,85 para 100.000 habitantes.

Estes dados de saúde revelam de uma forma mais clara o que diversos autores nacionais e internacionais têm estudado nos últimos anos. O estudo de Cohen et al (2017) revela que o aumento da exposição ao material particulado resulta efeitos adversos à saúde, sendo a 5ª maior causa de morte no mundo, causando 4,2 milhões de mortes em 2015, sendo que 59% deste impacto ocorreu em regiões industrializadas e urbanizadas da Ásia Oriental e Sul da Ásia. Segundo Badaloni et al (2017), o aumento à exposição de MP<sub>2,5</sub> e componentes particulados provindos de veículos, queimadas e indústrias aumentam a mortalidade cardiovascular.

Os efeitos na saúde também refletem em custos econômicos. Segundo Tayra et al (2012), a cidade de Cubatão apresentou maiores custos em saúde por doenças no aparelho respiratório e circulatório quando comparada com cidades com menor atividade industrial. Segundo Abe e Miraglia (2016), São Paulo evitaria mais de 5 mil mortes prematuras caso a concentração de MP<sub>2,5</sub> diminuísse para o padrão da OMS

(10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), economizando US\$ 15,1 bilhões anuais. Outros estudos nacionais para os municípios de estudo e impactos à saúde podem ser vistos no Quadro 4.

A concentração do  $\text{MP}_{2,5}$  deve ser então avaliada com muita cautela pelos municípios, limitando as emissões dos mesmos e intervindo no processo de licenciamento. Além disso, há a necessidade da criação de estruturas de controle da poluição em áreas especiais e apoios às implementações e tecnologias menos poluentes. Quanto à legislação para os padrões de qualidade do ar no Brasil, representada pelo CONAMA 003/90, diversos especialistas afirmam que suas disposições estão desatualizadas e ultrapassadas, visto sua publicação há 28 anos atrás (VORMITTAG; SALDIVA, 2015). Ainda assim, a realidade brasileira é de difícil cumprimento ao que já está estabelecido por esta legislação.

Quanto aos padrões de qualidade do ar estabelecidos pela OMS que são mais restritos, por exemplo, estes estão ainda mais distantes de serem cumpridos, refletindo em impactos na saúde da população exposta. Este mesmo padrão da OMS para  $\text{MP}_{10}$  e  $\text{MP}_{2,5}$  foi estabelecido pelo Estado de São Paulo como padrão final a ser alcançado pelos municípios, porém sem data limite para ser alcançado. Cabe ressaltar que muitas cidades estão dentro do limite de concentração determinada pela nossa lei federal, caracterizando sua qualidade do ar como ‘normal’ ou ‘boa’, mas como seus padrões adotados são de valores altos, ainda assim a população é afetada, estando exposta a uma concentração além do recomendado. Estes valores são principalmente para o  $\text{MP}_{10}$ , que enquanto o padrão de qualidade do ar no Brasil admite em torno de uma concentração máxima de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , enquanto a OMS preconiza 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ao ano.

Desta forma, o padrão brasileiro tolera três vezes mais do que o indicado e uma revisão extremamente minuciosa é urgente para nossas legislações e aperfeiçoamento dos instrumentos de gestão. A realidade é que estas atualizações na legislação poderão ocorrer a longo prazo e a perspectiva de restringir estes padrões de qualidade do ar está associada com a pressão econômica nacional que oferece muita resistência às mudanças. Além disso, os padrões finais de concentração estaduais devem ser cumpridos com o máximo de rigor e fiscalizados para que a qualidade do ar seja gradativamente melhorada nos municípios.

Caso os padrões de qualidade do ar e modelos de gestão se mantiverem os mesmos, em quinze anos haverá 256 mil mortes e 1 milhão de internações por doenças relacionadas à poluição do ar, com custo de R\$1,5 bilhão a preço de 2011 para a saúde. A poluição do Estado de São Paulo adoece a população muito mais do



que doenças como a Aids, duas vezes mais do que acidentes de trânsito, três vezes mais do que câncer de mama e seis vezes mais do que câncer de próstata (VORMITTAG; SALDIVA, 2015).

Desta forma, os resultados obtidos através deste estudo, ao que se refere à mortalidade, corrobora com outros estudos internacionais como Abe et al (2018); Costa et al (2016) e Hadei et al (2017), uma vez que foi constatada a associação significativa para a exposição ao poluente  $MP_{2,5}$  e mortalidade cardiorrespiratória.

De modo similar, os 3 municípios que apresentaram maior consumo de energia elétrica correspondem aos setores industriais que são muito demandantes de energia (químico, petroquímica e automobilístico) e que igualmente apresentaram elevadas taxas de mortalidade associada ao  $MP_{2,5}$  (São Paulo, Guarulhos e Santo André).

Em contraste, os padrões estaduais de qualidade do ar não estabelecem a proteção aos desfechos de mortalidade devido à defasagem de seus valores em relação à OMS, aqui já discutida.

Muitos benefícios podem advir das melhorias tecnológicas aplicadas aos equipamentos industriais e qualidade dos combustíveis. Entretanto, muito há ainda a ser feito e, para auxiliar a tomada de decisão e elaboração de políticas públicas, é importante a construção de cenários que estimem a relação de origem das emissões industriais e do destino desses poluentes, a fim de se estimar o valor do dano em termos de saúde em contraposição ao investimento necessários para a adoção de tecnologias de combustão e combustíveis mais eficientes. A identificação dessa relação causal e valoração econômica desse impacto e investimento são lacunas a serem preenchidas na continuidade dessa linha de pesquisa.

## 7. CONCLUSÃO

O trabalho analisou as relações entre emissões de poluentes atmosféricos provenientes da atividade industrial, mais especificamente o  $MP_{2,5}$ , e os impactos associados da qualidade do ar com relação ao ambiente e à saúde nos municípios do Estado de São Paulo. Realizou-se o levantamento dos principais perfis das atividades industriais e os consumos de energia elétrica dos municípios do Estado de São Paulo que se caracterizam por intensa atividade industrial, identificando um número de 11 potenciais municípios para o estudo. A lista final de municípios foi dada pela limitação de dados do monitoramento das emissões de  $MP_{10}$  nos anos de 2008 a 2016, disponibilizados pela CETESB.

A análise do setor industrial nos municípios forneceu indícios sobre as relações entre produtividade e emissões de poluentes, a partir do indicador de consumo de energia elétrica. A indústria de São Paulo foi a que mais emitiu poluentes atmosféricos antropogênicos na atmosfera, porém, o município que mais consome energia elétrica por unidade consumidora e mais emite poluentes atmosféricos por unidade consumidora é o município de Cubatão (média de 39.415.554,73 kWh/N.C. e média de 2.782,27 tCO<sub>2</sub>/N.C.), seguido de Paulínia (média de 2.572.518,69 kWh/N.C. e média de 184,37 tCO<sub>2</sub>/N.C.). Tanto Cubatão quanto Paulínia, também representaram as maiores contribuições fracionárias entre os municípios estudados, com médias de 0,11 e 0,07, respectivamente.

O número de óbitos associados à poluição atmosférica de  $MP_{2,5}$ , apresentou os maiores valores para os municípios de São Paulo (3.247,20 óbitos), Guarulhos (3.237,35 óbitos) e Santo André (2.225,11 óbitos). As maiores taxas de mortalidade são dos municípios de Cubatão (380,13 óbitos), Santo André (328,96 óbitos) e Guarulhos (264,92 óbitos), para 100.000 habitantes.

A contribuição das emissões industriais de  $MP_{2,5}$  na qualidade do ar não foi possível ser diretamente atribuída, visto a metodologia utilizada por este estudo ter como base o consumo energético pelas indústrias e a matriz energética brasileira ser majoritariamente hidrelétrica. Os dados para concentração de  $MP_{10}$  e  $MP_{2,5}$  disponibilizada pela CETESB não determina a real proporção de emissões provindas das diversas fontes destes poluentes.

Os resultados indicam que a realidade de cada município estudado é muito diferente entre si, principalmente quanto aos setores industriais em que atuam e a

região geográfica que ocupam. Os gráficos apresentaram uma correlação entre o número de óbitos com a concentração de  $MP_{2,5}$ . Quando há uma elevada concentração do poluente na atmosfera, observa-se um aumento na mortalidade por doenças cardiorrespiratórias no período. De forma geral, Cubatão, Piracicaba e Santo André estão entre os cinco municípios que mais consomem energia, apresentando as maiores concentrações de  $MP_{2,5}$  anuais e com alta mortalidade por doenças cardiorrespiratórias associadas ao poluente. Guarulhos também apresentou dados relevantes, estando entre os cinco municípios que mais consome energia e com alta mortalidade. São Paulo, apesar de consumir muita energia não está entre os mais poluidores e não apresenta uma taxa elevada nos efeitos na saúde..

No geral, o consumo energético pelo setor industrial não apresentou correlação com a concentração de  $MP_{2,5}$ , visto a matriz energética brasileira não apresentar dados para este tipo de poluente. Os municípios que apresentaram correlação entre o ano de menor consumo energético e menor concentração do poluente foram: Cubatão, Jundiaí, Santo André, e São Paulo. O único município que apresentou correlação positiva entre o ano com maior consumo energético e maior concentração do poluente foi Sorocaba.

O Brasil possui um limite tolerável de concentração de  $MP_{10}$  três vezes maior que o limite máximo indicado pela OMS para 24 horas. Isso significa que se expõe a população a elevadas concentrações de poluentes com reflexos diretos na saúde pública: a taxa de mortalidade nos municípios estudados é, em média 225,48 óbitos por doenças cardiorrespiratórias associadas ao  $MP_{2,5}/100.00$  habitantes.

Apesar das fontes de poluição difusas, como automóveis, serem mais representativas que as fontes de poluição industriais nos grandes centros urbanos, é fortemente recomendado que os limites de tolerância à concentração de material particulado sejam revistos. Esse pode ser o gatilho para mobilização do setor industrial e governo na busca de soluções conjuntas para a melhora da qualidade do ar local. Desta forma, a busca pelo objetivo número 9 do Desenvolvimento Sustentável, sobre indústria, inovação e infraestrutura, auxilia no alcance de melhores condições para a população, principalmente quanto aos impactos na saúde.

## 8. TRABALHOS FUTUROS

De maneira a dar continuidade a este trabalho, sugerimos algumas linhas para estudos futuros:

- I. Avaliar o consumo energético no Estado de São Paulo, comparando municípios de diferentes regiões (interior e litoral, por exemplo);
- II. Mensurar a matriz produção-consumo dos municípios, associando o quanto está sendo produzido e o quanto está sendo consumido por outras regiões, de maneira a avaliar os impactos associados;
- III. Mensurar as emissões provindas de fontes fixas como o setor industrial por município;
- IV. Avaliar acontecimentos históricos, ambientais e tomada de decisões políticas em anos de baixo consumo energético e consequente impactos associados, como a influência pluviométrica nos anos de estudo, a crise hídrica que afetou a cidade de São Paulo, entre outros;
- V. Avaliar municípios com alto consumo energético e que não apresentaram estações de monitoramento de  $MP_{10}$ , verificando os impactos à saúde devido à poluição por fontes fixas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABE, K. C.; MIRAGLIA, S. G. E. K. Health impact assessment of air pollution in São Paulo, Brazil. *Int. J. Environ. Res. and Public Health*, v. 13, n. 694, 2016.
- ABE, K. C. et al. PM<sub>10</sub> Exposure and Cardiorespiratory Mortality – Estimating the Effects and Economic Losses in São Paulo, Brazil. *Aerosol and Air Quality Research*, v. 18, p. 3127-3133, 2018.
- AHRENS, C. Donald. *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*. Brooks/Cole, 2008.
- ALMEIDA, Ivo Torres de. A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto. Universidade de São Paulo, Dissertação para Mestrado em Engenharia, 1999. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-31012002-170628/publico/ita.pdf>>. Acesso em: jan. 2019.
- ALVES, Célia. AEROSSÓIS ATMOSFÉRICOS: PERSPECTIVA HISTÓRICA, FONTES, PROCESSOS QUÍMICOS DE FORMAÇÃO E COMPOSIÇÃO ORGÂNICA. *Química Nova*, v. 28, n. 5, 2005.
- APERGIS, N.; PAYNE, J. E. Energy consumption and economic growth in Central America: evidence from a panel cointegration and error correction model. *Energy Economics*, v. 31, n. 2, p. 2011-2016, 2009.
- APTE, J. S.; MARSHALL, J. D.; COHEN, A. J.; BRAUER, M. Addressing global mortality from ambient MP<sub>2.5</sub>. *Environmental Science & Technology*, n. 49, p. 8057-8066, 2015.
- AMÂNCIO, Camila Trolez; NASCIMENTO, Luis Fernando. Asthma and air pollutants: a time series study. *Revista da Associação Médica Brasileira*, v.58, n.3, p.302-307, 2012.
- AMÂNCIO, Camila Trolez; NASCIMENTO, Luis Fernando. Environmental pollution and deaths due to stroke in a city with low levels of air pollution: ecological time series study. *São Paulo Med J.*, v. 132, n. 6, p. 353-358, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/1516-3180.2014.1326733>.
- AZZONI, Carlos Roberto. Economia de São Paulo: ainda a locomotiva? São Paulo em Perspectiva, v.7, n. 2, p. 2-13, 1993. Disponível em: <[http://produtos.seade.gov.br/produtos/spp/v07n02/v07n02\\_01.pdf](http://produtos.seade.gov.br/produtos/spp/v07n02/v07n02_01.pdf)>. Acesso em: nov. 2018.
- BALADONI, C. et al. Effects of long-term exposure to particulate matter and metal components on mortality in the Rome longitudinal study. *Environment International*, 2017.
- BAKONYI, S.M.C., DANNI-OIVEIRA, I.M., MARTINS, L.C., BRAGA, A.L.F. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. *Rev Saúde Pública*; v.38, n.5, p.695-700. 2004.

BARBOSA, S. M. de M. et al. Air pollution and children's health: sickle cell disease. *Cad. Saúde Pública*, v.31, n.2, p.265-275, 2015.

BARI, M. A; KINDZIERSKI, W. B. Characteristics of air quality and sources affecting fine particulate matter (PM<sub>2,5</sub>) levels in the City of Red Deer, Canada. *Environmental Pollution*, 2017.

BELL, M. L. et al. The avoidable health effects of air pollution in three Latin American cities: Santiago, São Paulo, and Mexico City. *Environmental Research*, n. 100, p. 431-440, 2006.

BENTAYEB, M. et al. Adverse respiratory effects of outdoor air pollution in the elderly. *The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease (IJTLD)*, v. 16, n. 9, p. 1149-61, 2012.

BEZERRA, A. dos S. et al. A evolução histórica da questão ambiental. 25º congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental. Research Gate, 2009. Disponível em: <  
[https://www.researchgate.net/publication/289245557\\_A\\_EVOLUCAO\\_HISTORICA\\_DA\\_QUESTAO\\_AMBIENTAL](https://www.researchgate.net/publication/289245557_A_EVOLUCAO_HISTORICA_DA_QUESTAO_AMBIENTAL)>. Acesso em: 26 nov. 2018.

BIRNFELD, Carlos André Huning. Cidadania Ecológica - Fundamentos para a compreensão da emergência e do significado do Estado de bem-estar ambiental e do Direito Ambiental. Pelotas, Delfos, v. 1, 342 p, 2006.

BRAGA, A. et al. Poluição atmosférica e saúde humana. *Revista USP*, São Paulo, n. 51, p. 58-71, set/nov. 2001.

BRASIL. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018. Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2018. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2018vf.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Institui a Política Nacional do Clima – PNMC.

BRASIL. RESOLUÇÃO/CONAMA/n.º 003 de 28 de junho de 1990. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 22 ago. 1990. Seção I, p. 15.937-15.939.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – CCEE. “InfoMercado semanal: consumo cresce nos setores de veículos e saneamento”. Disponível em: <  
<https://www.ccee.org.br/>>. Acesso em: nov. 2017.

CAMARA, V. F.; LISBOA, H. M.; HOINASKI, L.; DAVID P. C. Levantamento das emissões atmosféricas da indústria da cerâmica vermelha no sul do Estado de Santa Catarina, Brasil. *Cerâmica*, v. 61, p. 213-218, 2015.

CARMINATI, J. G.; SCALCO, P. R. Relações de causalidade entre energia e crescimento econômico no Brasil. *Rev. Brasileira de Energia*, v. 19, n. 2, p. 355-374, 2013.

CARVALHO, Joaquim Francisco de. Energia e sociedade. **Estud. av.**, São Paulo, v. 28, n. 82, p. 25-39, Dec. 2014. Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142014000300003&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142014000300003&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: mai. 2018.

CASTRO, A. H. S. et al. Qualidade do Ar – Parâmetros de controle e efeitos na saúde humana: uma breve revisão. *Holos*, a. 29, v.5, 2013. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewFile/1242/730>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

CENTRO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – CIESP. Indústrias de Cubatão somam melhorias ambientais com aumento de produção. 2008. Disponível em: <<http://www.ciesp.com.br/noticias/industrias-de-cubatao-somam-melhorias-ambientais-com-aumento-de-producao/>>. Acesso em: 1 fev. 2019.

CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES METEOROLÓGICAS – CIIAGRO. Mapas do Boletim Climático. 2012. Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.gov.br/boletim/index2.asp?ano1=12#>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

CHAN, E. A. W. et al. The reduction of summer sulfate and switch from summertime to wintertime PM<sub>2,5</sub> concentration maxima in the United States. *Atmosphere Environmental*, n. 175, p. 25-32, 2018.

CRAMER, James C. Population Growth and Local Air Pollution: Methods, Models, and Results. Supplement: Population and Environment: Methods of Analysis, Vol. 28, p. 22-52, 2002. Disponível em: <<http://www-jstor-org.ez69.periodicos.capes.gov.br/stable/pdf/3115267.pdf?refreqid=excelsior%3A07a6eb7478655a79215718d4b35fed87>>. Acesso em: mai. 2018.

CÉSAR, A. C. G. et al. Fine particulate matter estimated by mathematical model and hospitalizations for pneumonia and asthma in children. **Revista Paulista de Pediatria** (English Edition), v. 34, n. 1, p. 18-23, 2016.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Qualidade do ar (2018). Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/ar/>>. Acesso em: mai. 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo (2016). Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2013/12/relatorio-ar-2016.pdf>>. Acesso em: mai. 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. PORTAL DA INDÚSTRIA. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/cni/>>. Acesso em: dez. 2017.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. Agenda 21 de 1992: Rio de Janeiro. Brasília, Câmara dos deputados, Coordenação de Publicações, 1995. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/agenda21.pdf>>. Acesso em: mai. 2018.

CONVENÇÃO SOBRE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA TRANSFRONTEIRIÇA A LONGA DISTÂNCIA – CLTRAP. UNECE. Genebra, 13 de novembro de 1979.

CORRÊA, R. A. et al. Carga de doença por infecções do trato respiratório inferior no Brasil, 1990 a 2015: estimativas do estudo Global Burden of Disease 2015. *Rev. Brasileira Epidemiologia*, v. 20, n. 1, p. 171-181, 2017.

CORRÊA, Souza Cleber. Estudo micrometeorológico da camada limite planetária estável na região de Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação em Sensoriamento Remoto, Porto Alegre, 1997. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5878/000521530.pdf?sequence=1>>. Acesso em: jan. 2019.

COSTA, A.F. et al. Air pollution and deaths among elderly residents of Sao Paulo, Brazil: An analysis of mortality displacement. *Environ. Health Perspect*, v. 125, p. 349–354, 2016.

CUBATÃO. Aspectos econômicos. Disponível em: <<http://www.cubatao.sp.gov.br/aspectos-economicos/>>. Acesso em: dez 2017.

DALES, R. E.; CAKMAK, S.; VIDAL, C. B. Air pollution and hospitalization for headache in Chile. *American Journal of Epidemiology*, v. 170, n. 8, 2009.

DAPPER, Steffani Nikoli. Estudo da associação dos efeitos da poluição do ar na saúde da população de Canoas/RS. 2016. 97 f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. Disponível em: <<http://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8412/DAPPER,%20STEFFANI%20NIKOI.pdf?sequence=1>>. Acesso em: mai. 2018.

DAPPER, S. N.; SPOHR, C.; ZANINI, R. R. Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no Estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, v.30 (86), 2016.

DENG X. et al. PM<sub>2.5</sub>-induced oxidative stress triggers autophagy in human lung epithelial A549 cells. *Toxicology in Vitro*, v. 27, n. 6, p. 1762-1770, 2013.

DE ZWART, F. et al. Air pollution and Performance-Based Physical Functioning in Dutch Older Adults. *Environmental Health Perspectives*, v. 126, n. 1, 2018.

DIAS, Anderson Alberto C.; NETO, A. V. Andrade; MILTÃO, M. S. R. A atmosfera terrestre: composição e estrutura. *Caderno de Física da UEFS* 05, p. 21-40, 2007. Disponível em: <<http://dfis.uefs.br/caderno/vol5n12/Atmosfera.pdf>>. Acesso em: jan. 2018.

DOCKERY, D. W.; POPE, C. A. Acute respiratory effects of particulate air pollution. *Rev. Public Health*, v. 15, p.107-132, 1994.

DORIGON, Larissa Piffer; CARDOSO, Renata dos Santos. Análise do fluxo de vento e seu papel na dispersão de poluentes em Presidente Prudente – SP. *Bol. Geogr., Maringá*, v. 33, n.1, p. 95-108, 2015.



DRUMM, F. C. et al. Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores. REGET/USFM, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 66-78, 2014.

EBI, Kristie; MCGREGOR, Glenn. Climate change, tropospheric ozone and particulate matter, and health impacts. **Ciênc. saúde coletiva**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 6, p. 2281-2293, dez. 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-81232009000600037&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232009000600037&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em mai 2018.

ECKEL S. P. et al. Air pollution affects lung cancer survival. Thorax, v. 71, n. 10, 2016.

FARAH JÚNIOR, Moisés Francisco. A Terceira Revolução Industrial e o Novo Paradigma Produtivo: Algumas Considerações sobre o Desenvolvimento Industrial Brasileiro nos Anos 90. Rev. FAE, Curitiba, v. 3, n. 2, p. 45-61, mai/ago 2000. Disponível em: <<https://revistafae.fae.edu/revistafae/article/view/501>>. Acesso em: jan. 2018.

FERREIRA, Joana Cardoso. Relação Qualidade do Ar e Exposição Humana a Poluentes Atmosféricos. Universidade de Aveiro, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Tese de Doutorado em Ciências Aplicadas, 2007.

FILHO, A. J. P. et al. Impactos Antrópicos no Clima da Região Metropolitana de São Paulo. Disponível em: <[https://nossasaopaulo.org.br/sites/default/files/biblioteca/impactos\\_antropicos\\_clima.pdf](https://nossasaopaulo.org.br/sites/default/files/biblioteca/impactos_antropicos_clima.pdf)>. Acesso em: nov. 2018.

FREITAS, C. U. et al. Poluição do ar em cidades brasileiras: selecionando indicadores de impacto na saúde para fins de vigilância. Epidemiol. Serv. Saúde, Brasília, v. 22, n. 3, p. 445-454, 2013.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE GOIÁS – FAPEG. Indústrias são maiores consumidoras de energia do Brasil (2015). Disponível em: <<http://www.fapeg.go.gov.br/industrias-sao-maiores-consumidoras-de-energia-no-brasil/>>. Acesso em: mai. 2018.

FUNDAÇÃO SEADE. Estrutura econômica do Estado de São Paulo. Radar Seade, n. 9, 2016. Disponível em: <[http://www.seade.gov.br/produtos/midia/2016/01/radar\\_seade\\_jan\\_N9.pdf](http://www.seade.gov.br/produtos/midia/2016/01/radar_seade_jan_N9.pdf)>. Acesso em: nov. 2018.

GAVINIER, Samara; NASCIMENTO, Luiz Fernando Costa. Air pollutants and hospital admissions due to stroke. Rev. Ambient. Água, v.9, n.3, p.390-401, 2014.

GILLILAND, Frank D. Outdoor air pollution, genetic susceptibility, and asthma management: opportunities for intervention to reduce the burden of asthma. Pediatrics, v. 123, n. 3, 2009.

GIOIA, S. M. C. L. et al. An isotopic study of atmospheric lead in a megacity after phasing out leaded gasoline. Atmospheric Environment, v. 149, p. 70-83, 2017.

GOMES, Ana Carla dos Santos; LUCIO, Paulo Sérgio; SPYRIDES, Maria Helena Constantino. Influência da Poluição por Material Particulado nas Internações de Crianças Asmáticas na Região da Grande São Paulo. *Rev. Bras. de Geografia Física*, v. 6, n. 4, p. 749-763, 2013.

GOSS, C.H., et al. Effect of ambient air pollution on pulmonary exacerbations and lung function in cystic fibrosis. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, v. 169, n. 7, p. 816-821, 2004.

GOUVEIA, N. et al. Poluição do ar e hospitalizações na maior metrópole brasileira. *Revista de Saúde Pública*, 2017.

GUARIEIRO, L. L. N. et al. Poluentes Atmosféricos Provenientes da Queima de Combustíveis Fósseis e Biocombustíveis: Uma Breve Revisão. *Revista Virtual de Química*, v. 3, n. 5, 2011.

GUARULHOS. Potencial econômico. Disponível em: <<http://www.guarulhos.sp.gov.br/pagina/potencial-econ%C3%B4mico>>. Acesso em: jan 2018.

GUERRA, Fernanda Pinto; MIRANDA, Regina Maura. Influência da Meteorologia na concentração do poluente atmosférico PM<sub>2,5</sub> na RMRJ e RMSP. Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2011.

HADEI, M. et al. Estimation of mortality and hospital admissions attributed to criteria air pollutants in Tehran Metropolis, Iran (2013–2016). *Aerosol Air Qual. Research*, v.17, p. 2474–2481, 2017.

HAN, L. et al. Impact of urbanization level on urban air quality: a case of fine particles (PM<sub>2,5</sub>) in Chinese cities. *Environmental Pollution*, v. 194, p. 163-170, 2014.

HE, Canfei; PAN, Fenghua; YAN, Yan. Is Economic Transition Harmful to China's Urban Environment? Evidence from Industrial Air Pollution in Chinese Cities. *Urban Studies*, p. 1767-1790, jun. 2012. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/ez69.periodicos.capes.gov.br/doi/pdf/10.1177/0042098011415719>>. Acesso em: mai. 2018.

HESTER, R. E.; HARRISON, R. M. Air quality in urban environments. *Royal Society of Chemistry*, v. 28, 2009.

HETTIGE, H. et al. The industrial pollution projection system - IPPS. World Bank, 1994. Disponível em: <<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/001083/Course2/Lecturas/otras/ipps.pdf>>. Acesso em: jan. 2019.

HIXSON, M. et al. Resolving the interactions between population density and air pollution emissions controls in the San Joaquin Valley, USA. *J. Air Waste Manage*, a 62, p. 566-575, 2012.

ICHIHARA, Silvio Massaru. O uso combinado dos modelos de insumo-produto e técnicas de geoprocessamento. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Tese de Doutorado em Economia Aplicada, 2007.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. Panorama do Estado de São Paulo. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/panorama>>. Acesso em: nov. 2018.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Normais Climatológicas 1961 a 1990. Brasília, 1992.

JASINSKI, Renata; PEREIRA, Luiz Alberto Amador; BRAGA, Alfésio Luís Ferreira. Poluição atmosférica e internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças e adolescentes em Cubatão, São Paulo, Brasil, entre 1997 e 2004. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro: v. 27, n. 11, p. 2242-2252, 2011.

JUNDIAÍ. Gestão do desenvolvimento Econômico, Ciência e Tecnologia 2018. Disponível em: <<https://jundiai.sp.gov.br/desenvolvimento-economico/wp-content/uploads/sites/9/2018/04/venha-para-jundiai-2017-ultima-versao.pdf>>. Acesso em: jun 2018.

JUNIOR, Rosiberto Salustiano da Silva; ANDRADE, Maria de Fátima. Validação de poluentes fotoquímicos e inclusão do inventário de emissões no modelo de qualidade do ar WRF/CHEM, para a Região Metropolitana de São Paulo. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 28, n.1, 2012.

KHANIABADI, Y. O. et al. Exposure to PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, and O<sub>3</sub> and impacts on human health. Environmental Science and Pollution Research (online), 2016.

LATORRE, M. et al. Correção atmosférica: conceitos e fundamentos. Espaço & Geografia, v. 5, n. 1, 2002.

LIMA, Thaiza Agostini Córdoba de et al. Association between maternal exposure to particulate matter and premature birth. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 9, n. 1, p. 27-36, 2014. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1262>.

LIN, J. et al. China's international trade and air pollution in the United States. PNAS, v. 111, n. 5, p. 1736-1741, fev. 2014. Disponível em: <<http://www.pnas.org/content/111/5/1736>>. Acesso em: jan. 2018.

LISBOA, Henrique de Melo. Controle da Poluição Atmosférica. Cap. VIII – Meteorologia e Dispersão. Montreal, 2007. Disponível em: <<http://repositorio.asc.es.edu.br/bitstream/123456789/418/11/Cap%208%20Meteorologia%20e%20dispers%C3%A3o%20atmosf%C3%A9rica.pdf>>. Acesso em: nov. 2018.

LIU, Q. et al. The effect of natural and anthropogenic factors on PM<sub>2.5</sub>: Empirical evidence from Chinese cities with different income levels. Science of the Total Environment, n.653, p. 157-167, 2019.

LEAL, Georla Cristina Souza de Gois; FARIAS, Maria Sallydelândia Sobral de; ARAUJO, Aline de Farias. O Processo de industrialização e seus impactos no meio ambiente urbano. Qualitas Revista Eletrônica, v. 7, n. 1, 2008.

LELIEVELD, JOS. POSCHL, Ulrich. Chemists can help to solve the air-pollution health crisis. Nature, v. 551, 2017.

LUO, J. et al. Spatiotemporal Pattern of PM<sub>2.5</sub> Concentrations in Mainland China and Analysis of Its Influencing Factors using Geographically Weighted Regression. *Scientific Reports*, 2017.

MACINTYRE E. A. et al. Air Pollution and Respiratory Infections during Early Childhood: An Analysis of 10 European Birth Cohorts within the ESCAPE Project. **Environmental Health Perspectives**, v. 122, n. 1, p. 107-113, 2014.

MACEDO, M. F. Gonçalves; BARBOSA, A. L. Figueira. Apresentação. In: Patentes, pesquisa & desenvolvimento: um manual de propriedade intelectual. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2000. 164 p.

MACHIN, A. B.; NASCIMENTO, L. F. C. Efeitos da exposição a poluentes do ar na saúde das crianças de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. *Cadernos da Saúde Pública*, v. 34, n. 3, 2018. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/csp/v34n3/1678-4464-csp-34-03-e00006617.pdf>> Acesso em: dez. 2018.

MAGALHÃES, Roberto Anderson de Miranda. A Construção da Sustentabilidade Urbana: Obstáculos e Perspectivas. III Encontro da ANPPAS, Brasília, 2006.

MANDAL, P. et al. Impacto f Diwaly celebrations on urban air and noise quality in Delhi City, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 184, p. 209-215, 2012. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-011-1960-7>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

MARCO, R. et al. Proximity to chipboard industries increases the risk of respiratory and irritation symptoms in children: the Viadana study. *Sci. Total Environmental*, v. 408, n. 3, 2010.

MATHIAS, Flavio Roberto de Carvalho. Diagnóstico Energético e Gestão da Energia em uma Planta Petroquímica de Primeira Geração. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Dissertação de Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos, 2014.

MAUÁ. Perfil municipal. Disponível em: <<http://www.maua.sp.gov.br/perfilmunicipal/>>. Acesso em: jan 2018.

MAYNARD, R. L. Air pollution: The last 35 years. *Human and Experimental Toxicology*, v. 34, n. 12, p. 1253-1257, 2015.

MEDINA, S. et al. The apheis project: air pollution and health—A European information system. *Air Qual. Atmos. Health*, v. 2, p. 185–198, 2009.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA (Brasil). Padrões de Qualidade do Ar (2018). Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/padrees-de-qualidade-do-ar>>. Acesso em: mai. 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA (Brasil). Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica. TUCCI, C. E. M; MENDES, C. A. (org.). Brasília, 2006.

MIRAGLIA, S. G. E. Khouri; ABE, K. Camasmie. Avaliação de Impacto em Saúde (AIS): coletânea de casos no Brasil. São Paulo, UNIFESP, 2017, 286 p.

MIRAGLIA, S. G. E. Khouri; GOUVEIA, Nelson. Custos da poluição atmosférica nas regiões metropolitanas brasileiras. *Ciência e Saúde coletiva*, v. 19, n. 10, p. 4141-4147, 2014.

MIRAGLIA, S. G. E. Khouri; SALDIVA, P. H. Nascimento. An Evaluation of Air Pollution Health Impacts and Costs in São Paulo, Brazil. *Environmental Management*, v. 35, n. 5, p. 667-676, 2005.

MONTEIRO, C.A. de F. A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo: estudo em forma de Atlas. São Paulo: USP/Igeo, 1973.

MONTOYA, M. A.; PASQUAL, C. A.; LOPES, R. L.; GUILHOTO, J. J. M. As relações intersetoriais do setor energético no crescimento da economia brasileira: uma abordagem insumo-produto. *Nereus*, v. 12, 2013.

MORAES, Ana Claudia Lopes de. Condições de Saúde e Ambiente em torno de um Polo Petroquímico no Rio Grande do Norte: uma análise integrada. Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Tese de Doutorado em Ciências, 2010. Disponível em: <<https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/23113/1/1151.pdf>>. Acesso em: mai. 2018.

MOREIRA, Davidson Martins; TIRABASSI, Tiziano; MORAES, Marcelo Romero de. Meteorologia e poluição atmosférica. *Ambiente & Sociedade*, Campinas, v. XI, n.1, p.1-13, 2008.

NAKAGAWA, Louise, et al. Impactos na Qualidade do Ar e na Saúde Humana da Poluição Atmosférica na Região Metropolitana de São Paulo – SP. V Encontro Nacional da Anppas, Florianópolis, 2010.

NARDOCCI, A. C. et al. Poluição do ar e doenças respiratórias e cardiovasculares: estudo de séries temporais em Cubatão, São Paulo, Brasil. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 29, n. 9, p. 1867-1876, 2013.

NASCIMENTO, L. F. C. et al. Environmental pollutants and stroke-related hospital admissions. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 28, n. 7, p. 1319-1324, 2012.

NASCIMENTO, Luis Fernando Costa; FRANCISCO, Juliana Batrov. Particulate matter and hospital admission due to arterial hypertension in a medium-sized Brazilian city. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 29, n. 8, p. 1565-1571, 2013.

NEWELL, K. et al. Cardiorespiratory health effects of particulate ambient air pollution exposure in low-income and middle-income countries: a systematic review and meta-analysis. **The Lancet Planetary Health**, v. 1, n. 9, p 368-380, 2017.

NORMAS PARA TESES E DISSERTAÇÕES. 2a ed. rev. e corrigida. São Paulo: Universidade Federal de São Paulo, Biblioteca Antônio Rubino de Azevedo, Coordenação de Cursos, 2015. Disponível em: <[www.bibliotecacsp.unifesp.br/Documentos-Apostila/normas-para-teses-e-dissertacoes](http://www.bibliotecacsp.unifesp.br/Documentos-Apostila/normas-para-teses-e-dissertacoes)>. Acesso em jan 2018.

OLIVEIRA, L. R. de. et al. Sustentabilidade: da evolução dos conceitos à implementação como estratégia nas organizações. *Produção*, v. 22, n.1, p. 70-82, 2012.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. World Urbanization Prospects. Disponível em: <<https://esa.un.org/unpd/wup/>>. Acesso em: jan. 2018.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE - OMS. “Nove em cada dez pessoas em todo o mundo respiram ar poluído” (2018). Disponível em: <[http://www.paho.org/bra/index.php?option=com\\_content&view=article&id=5654:nove-em-cada-dez-pessoas-em-todo-o-mundo-respiram-ar-poluido&Itemid=839](http://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5654:nove-em-cada-dez-pessoas-em-todo-o-mundo-respiram-ar-poluido&Itemid=839)>. Acesso em: mai. 2018.

OSTRO, Bart. Outdoor air pollution: assessing the environmental burden of disease at national and local levels. *Environmental Burden of Disease Series*, Geneva, World Health Organization, n. 5, 2004.

PAULÍNIA. Informações municipais. Disponível em: <<http://www.paulinia.sp.gov.br/informacoes>>. Acesso em: jan 2018.

PETERS A., et al. Increased particulate air pollution and the triggering of myocardial infarction. *Circulation*, v. 103, n. 23, p. 2810-2815, 2001.

PINHEIRO, S. de L. L. de A. et al. Efeitos isolados e sinérgicos do MP<sub>10</sub> e da temperatura média na mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias. *Rev. Saúde Pública*, v. 48, n. 6, p. 881-888, 2014.

PITTON, Sandra Elisa Contri. Prejuízos ambientais do consumo sob a perspectiva geográfica. In: CORTEZ, ATC., and ORTIGOZA, SAG., orgs. *Da produção ao consumo: impactos socioambientais no espaço urbano*. São Paulo: Editora UNESP, 2009. p. 91-110.

POPE, C. A., et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA*, v. 287, n. 9, 2002.

PORTUGAL. Decreto 45 de 12 de julho de 1980. Ministério dos Negócios Estrangeiros. *Diário da República* nº 159/1980, Série I de 1980-07-12. Disponível em: <<https://dre.tretas.org/dre/6246/decreto-45-80-de-12-de-julho>>. Acesso em: mai. 2018.

RIBEIRO, T. S. et al. Prevalence of hypertension and its associated factors in contaminated areas of the Santos-São Vicente Estuarine region and Bertioga, Brazil: 2006-2009. *Environmental Science and Pollution Research Internacional*, v. 23, n. 19, 2016.

RODRIGUES, Ana Maria da Silva; OLIVEIRA, Cristina M. V. Camilo de; FREITAS, Maria Cristina Vieira de. *Globalização, cultura e sociedade da informação. Perspectiva científica da informação*, Belo Horizonte, v. 6, n.1, p. 97-105, 2001. Disponível em: <[http://www.egov.ufsc.br/portal/sites/default/files/globalizacao\\_cultura\\_e\\_sociedade\\_da\\_informacao\\_2.pdf](http://www.egov.ufsc.br/portal/sites/default/files/globalizacao_cultura_e_sociedade_da_informacao_2.pdf)>. Acesso em: nov. 2018.

ROMÃO, R. The relationship between low birth weight and exposure to inhalable particulate matter. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro: v. 29, n.6, p. 1101-1108, 2013.

RUSSO, Paulo Roberto. A qualidade do ar no município do Rio de Janeiro: análise espaço-temporal de partículas em suspensão na atmosfera. *Revista de C. Humanas*, v. 10, n.1, p. 78-93, 2010. Disponível em: <<http://www.cch.ufv.br/revista/pdfs/artigo5vol10-1.pdf>>. Acesso em: nov. 2018.

SANTO ANDRÉ. Anuário de Santo André 2016. Disponível em: <<http://www.santoandre.sp.gov.br/pesquisa/ebooks/381434.PDF>>. Acesso em: dez. 2017.

SANTOS, P. G. de L. et al. Avaliação da Qualidade do ar: Concentrações de Material Particulado MP<sub>10</sub> e MP<sub>2,5</sub> no interior de uma instituição de ensino de Fortaleza (CE, Brasil). *Ciência e Natura*, v. 37, n.2, p.345-355, 2015. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/html/4675/467546186018/>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

SANTOS, Milton. Globalização e meio técnico-científico informacional. *Técnica, Espaço, Tempo*, 1994. Disponível em: <<http://reverbe.net/cidades/wp-content/uploads/2011/livros/tecnica-espaco-tempo-milton-santos.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2018.

SANTOS, V. de P. et al. O papel dos poluentes atmosféricos sobre o peso ao nascer em cidade de médio porte Paulista. *Revista Paulista de Pediatria*, v. 32, n. 4, p. 306-312, 2014.

SÃO BERNARDO DO CAMPO. Sumário de Dados 2012 - Capítulo IV - Economia. Disponível em: <<http://www.saobernardo.sp.gov.br/web/sbc/sumariodedados>>. Acesso em: dez 2018.

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. São José em dados 2016. Disponível em: <[http://servicos2.sjc.sp.gov.br/media/667370/sjdados\\_2016.pdf](http://servicos2.sjc.sp.gov.br/media/667370/sjdados_2016.pdf)>. Acesso em: dez. 2018.

SÃO PAULO (Município). Estabelecimentos e Empregos Formais por Subsetor de Atividade Econômica 2014. Disponível em: <[http://infocidade.prefeitura.sp.gov.br/htmls/18\\_estabelecimentos\\_e\\_empregos\\_\\_por\\_subseto\\_2014\\_469.html](http://infocidade.prefeitura.sp.gov.br/htmls/18_estabelecimentos_e_empregos__por_subseto_2014_469.html)>. Acesso em: jan 2018.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 59.113, de 23 de abril de 2013. Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providencias correlatas. Casa Civil, 23 abr. 2013.

SÃO PAULO (Estado). Decreto n.º 8.468, de 8 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei n.º 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Casa Civil, 6 set. 1976.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Energia. Atlas Eólico do Estado de São Paulo. 2016. Disponível em: <[http://www.energia.sp.gov.br/wp-content/uploads/2016/06/5.-atlas\\_eolico\\_estado\\_sao\\_paulo.pdf](http://www.energia.sp.gov.br/wp-content/uploads/2016/06/5.-atlas_eolico_estado_sao_paulo.pdf)>. Acesso em: nov. 2018.



SÃO PAULO (Estado). SECRETARIA DE ENERGIA E MINERAÇÃO. Biblioteca Virtual: Anuário Estatístico de Energético por Município no Estado de São Paulo. Disponível em: < <http://www.energia.sp.gov.br/>>. Acesso em: jul. 2017.

SCHWAB, Klaus. *The fourth industrial revolution*. Suíça: World Economic Forum, 2016.

SEVERIAN, Danilo. Dinâmica industrial na Região Metropolitana de São Paulo: Uma análise do período 2000-2015. Ipea, Boletim regional, urbano e ambiental, v. 18, 2018. Disponível em: <[http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8461/1/BRU\\_n18\\_Din%C3%A2mica.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8461/1/BRU_n18_Din%C3%A2mica.pdf)>. Acesso em: nov. 2018.

SEVERO, E. A. et al. Cleaner production, social responsibility and eco-innovation: Generations perception for a sustainable future. *Journal of Cleaner Production*, v. 186, p. 91-103, 2018.

SILVA, C. M. A. et al. Material particulado originário de queimadas e doenças respiratórias. *Revista de Saúde Pública*, v.47, n.2, p.345-52, 2013.

SILVA, L. T. da; ABE, K. C.; MIRAGLIA, S. G. El K. Avaliação de Impacto à Saúde da Poluição do Ar no Município de Diadema, Brasil. *RBCIAMB*, n. 46, p. 117-129, 2017.

SILVA, R. A. et al. Future global mortality from changes in air pollution attributable to climate change. *Nature Climate Change* (online), 2017.

SLAUGHTER J.C., et al. Effects of ambient air pollution on symptom severity and medication use in children with asthma. *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*, v. 91, n. 4, p. 346-353, 2003.

SOBRINHO, Ednaldo Moreno Góis; AZZONI, Carlos Roberto. Aglomerações industriais relevantes do Brasil. Nereus, São Paulo, 2014. Disponível em: [http://www.usp.br/nereus/wp-content/uploads/TD\\_Nereus\\_07\\_2014.pdf](http://www.usp.br/nereus/wp-content/uploads/TD_Nereus_07_2014.pdf)>. Acesso em: nov. 2018.

SOROCABA. Conheça Sorocaba. Disponível em: <<http://www.sorocaba.sp.gov.br/pagina/238/conheca-sorocaba.html>>. Acesso em: jan 2018.

STEINMETEZ, Bianca Teixeira Bazan; GABRIEL, Tizziani; SILVA, Leonardo Xavier da. A Poluição atmosférica transfronteiriça. In: LOBATO, Anderson O. C.; PIERRE, Philippe (Org.). Direito, justiça e ambiente: perspectivas franco-brasileiras. Rio Grande: Editora da Furg, 2013. P. 83-96.

STULL, Roland B. *Meteorology for scientists and engineers*. Brooks/Cole - Thompson Learning, 502 p., 2000.

TAKAMI, Saulo Teruo. MENDES, Auro Aparecido. DISTRITOS INDUSTRIAIS E POLÍTICAS PÚBLICAS EM PIRACICABA-SP: ANÁLISE CRÍTICA DAS CONDIÇÕES GERAIS DE REPRODUÇÃO DO CAPITAL. *Rev. UNA*, v. 2, n. 47, 2011.



TAYRA, Flávio. RIBEIRO, Helena. NARDOCCI, Adelaide de Cássia. Economic Cost of Air Pollution in Cubatão - SP Based on Health Expenses Related to Diseases of the Respiratory and Circulatory Systems. *Saúde e Sociedade*, São Paulo, v. 21, n. 4, 2012.

TOTH, F.; HIZSNYIK, E. Integrated environmental assessment methods: Evolution and applications. *Environmental Modeling and Assessment*, 3, 193-207, 1998. doi:10.1023/A:1019071008074

UMETSU, Dale T. DEKRUYFF, Rosemarie H. Natural Killer T cells are important in the pathogenesis of asthma: The many pathways to asthma. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, v. 125, n. 5, p. 975-979, 2010.

UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE – UNECE. Conventions and Protocols: UNECE multilateral environmental agreements (2018). Disponível em: < <https://www.unece.org/env/treaties/welcome.html> >. Acesso em: mai. 2018.

UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE – UNECE. Towards Cleaner Air: Scientific Assessment Report 2016. MAAS, R.; GREENFEL, P. (edit). EMEP Steering Body and Working Group on Effects of the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution: 2016. Disponível em: <[http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/lrtap/ExecutiveBody/35th\\_session/CLRTA\\_P\\_Scientific\\_Assessment\\_Report\\_-\\_Final\\_20-5-2016.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/lrtap/ExecutiveBody/35th_session/CLRTA_P_Scientific_Assessment_Report_-_Final_20-5-2016.pdf)>. Acesso em: mai. 2018

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. What are the Air Quality Standards for PM. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/region1/airquality/pm-aq-standards.html>>. Acesso em jul. 2018.

VIEIRA F. V. et al. Indústria e crescimento econômico: evidências para países desenvolvidos e em desenvolvimento. *Rev. de Economia Política*, v. 34, n. 3, p. 485-502, 2014.

VIEIRA-FILHO, Marcelo S.; LEHMANN, Christopher; FORNARO, Adalgiza. Influence of local sources and topography on air quality and rainwater composition in Cubatão and São Paulo, Brazil. *Atmospheric Environment*, v. 101, p. 200-208, 2015.

VIGOTTI, M. A. et al. Mortality analysis by neighbourhood in a city with high levels of industrial air pollution. *International Journal of Public Health*, v. 59, n. 4, p. 645-653, 2014.

VORMITTAG, Evangelina da M. P. A de Araujo; SALDIVA, Paulo H. N. Qualidade do Ar no Estado de São Paulo sob a visão de saúde. Instituto Saúde e Sustentabilidade, 2014.

VORMITTAG, Evangelina da M. P. A de Araujo; SALDIVA, Paulo H. N. Qualidade do Ar no Estado de São Paulo sob a visão de saúde. Instituto Saúde e Sustentabilidade, 2015.

WEST, J. J. et al. "What We Breathe Impacts Our Health: Improving Understanding of the Link between Air Pollution and Health". *Environmental Science & Technology*, v. 50, p. 4895-4904, 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. WHO Global Urban Ambient Air Pollution Database (2016). Disponível em: <[http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/cities/en/](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities/en/)>. Acesso em: mai. 2018.

YANAGI, Yoshio; ASSUNÇÃO, João Vicente de; BARROZO, Ligia Vizeu. The impact of atmospheric particulate matter on cancer incidence and mortality in the city of São Paulo, Brazil. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro: v. 28, n. 9, p. 1737-1748, 2012.

YORIFUJI, T. et al. Long-term exposure to traffic-related air pollution and mortality in Shizuoka, Japan. *Occup. Environ. Med.*, v. 67, n. 2, 2010.

YOU, Mingging. Addition of PM<sub>2.5</sub> into the National Ambient Air Quality Standards of China and the Contribution to Air Pollution Control: The Case Study of Wuhan, China. *Scientific World Journal*, 2014. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3997137/>>. Acesso em: fev. 2018.

ZHANG Q., *et al.* Transboundary health impacts of transported global air pollution and international trade. *Research Letter, Nature*, v. 543, p. 705-709, 2017.

## APÊNDICE

### TABNET – DATASUS

Os dados de mortalidade dos municípios foram obtidos através do Portal da Saúde do SUS, que são disponibilizados através do sistema de informações de saúde TABNET do DATASUS. O acesso aos dados pode ser verificado nos passos a seguir:

1. Os dados de mortalidade de cada município foram obtidos através do acesso ao portal DATASUS através do link <<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/>>;
2. Posteriormente, foi acessado o ícone Informações de Saúde (TABNET) e selecionado os dados de “Estatísticas Vitais – Mortalidade e Nascidos Vivos”;
3. Selecionar o grupo de opções “Mortalidade – 1996 a 2016, pela CID-10” e posteriormente “Mortalidade geral”;
4. Para a abrangência geográfica, selecionar o Estado de São Paulo;
5. Para Mortalidade de São Paulo, os dados para linha foram “Município”, para coluna “Ano de Óbito” e para conteúdo “Óbitos por Residência”;
6. Para períodos disponíveis, foram selecionados os anos de “2008” a “2016”;
7. Dentre as seleções disponíveis, para municípios selecionar “Cubatão”, “Guarulhos”, “Jundiaí”, “Mauá”, “Paulínia”, “Piracicaba”, “Santo André”, “São Bernardo do Campo”, “São José dos Campos”, “São Paulo” e “Sorocaba”; para Capítulo CID-10 selecionar capítulo “IX. Doenças do aparelho circulatório” e capítulo “X. Doenças do aparelho respiratório”; e por fim, para “Faixa Etária” selecionar as idades “30 a 39 anos” a “80 anos e mais”; os demais filtros não foram considerados para a pesquisa.

Foram considerados apenas os óbitos acima de 30 anos, considerando a metodologia proposta por OSTRO (2004), por se tratar de uma análise *long-term exposure* que representa uma associação entre mortalidade e morbidade, com o período de exposição a um poluente, que seja maior do que um ano. A seleção dos óbitos por doenças cardiorrespiratórias de pessoas com idade acima de 30 anos, representa que os óbitos abaixo desta idade não são de grande representatividade em números absolutos, por conta do tempo de exposição ao poluente.